

УДК 551.21:551.435:552.142

ТЕРМОАНОМАЛИИ КОНУСА САВИЧА (ВУЛКАН КИХПИНЫЧ, КАМЧАТКА): РЕЗУЛЬТАТЫ ДАННЫХ ИК-СЪЕМКИ И НАЗЕМНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА 30 ЛЕТ (1982–2012 гг.)

© 2015 г. О. Ф. Карданова, И. К. Дубровская, Я. Д. Муравьев

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН
683006 Петропавловск-Камчатский, бульвар Пийна, 9,
e-mail: kof@kscnet.ru*

Поступила в редакцию 04.08.2014 г.

Анализ материалов плановой аэротепловой съемки 2010 и 2012 гг., а также наземной ИК-съемки 2010 г. показал изменения в температурном режиме аномалий конуса Савича (вулкан Кихпиньч, Камчатка) по сравнению со съемками 1982 и 1993 гг. Было отмечено повышение температуры в верхней части конуса, появление новых прогретых площадок в прикратерной зоне конуса и появление отсутствовавших ранее белых возгонов в юго-западном и юго-восточном секторах кратера.

DOI: 10.7868/S0203030615060036

Кихпиньчский долгоживущий вулканический центр (КДВЦ), выделенный В.И. Белоусовым [1978], расположен на Камчатке, на территории Кроноцкого государственного природного биосферного заповедника. Этот центр включает несколько разнородных и разновозрастных сооружений. Одно из них – вулкан Старый Кихпиньч (Пик) возник в среднем – верхнем плейстоцене в Восточной вулканической зоне [Брайцева и др., 1985; 1991]. Постройка вулкана Старый Кихпиньч (СК) служит основанием для двух базальтовых конусов Молодого Кихпиньча: Западного (кЗ) и Савича (кС) и, расположенного южнее, дацитового вулкана Сопка Желтая. История формирования и динамика активности вулкана Молодой Кихпиньч показана в [Брайцева и др., 1985]; оценка вулканической опасности вулкана Кихпиньч в [Пономарева, Брайцева, 1990]; долгосрочный прогноз для него в [Новейший ..., 2005]. В данной статье рассматриваются термоаномалии (ТА) конуса Савича. Термоаномалии изучались наземными методами в августе 1982, 1997, 2010 гг. Аэротепловая съемка района проводилась в 1982, 1989 гг. тепловизором AGA-Thermovision 680 (1 pix ~10 м), в 2010 и 2012 гг. – тепловизором высокого разрешения ThermoCam P 640 (1 pix ~1.4 м), в 1993 г. – данные NASA (TIMS).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В данной статье подробно рассмотрены изменения, произошедшие на конусе Савича с 1982 по 2012 гг. На рисунке 1 показано изменение термоаномалий с 1993 по 2012 гг. по результатам аэротепловой съемки; приведен общий вид конуса в 1999 г., где отмечено положение ТА 9 (см. рис. 1а).

Термоаномалии получены в результате тепловой съемки NASA в 1993 г. и плановых тепловых аэрофотосъемок 2010 и 2012 гг. (см. рис. 1б, 1в, 1г). На снимке 1993 г. четко видны десять ТА, количество которых в 2010 г. увеличилось до 14, кроме того, увеличились площади и яркость отдельных аномалий. В 2010 г. было зафиксировано увеличение площади прогрева верхней части конуса, площадь ТА 9 по сравнению с 1993 г. сильно увеличилась. На восточном склоне появились большие ТА 12 и ТА 13, на южном склоне – новая небольшая ТА 11, но сильно сократилась ТА 8. Изменилась структура аномалий. Хорошо видно, что в 2010 г. интенсивность термоаномалий в северном секторе кратера уменьшилась, в южном – увеличилась, восточный склон стал теплее. В 2012 г. по сравнению с 2010 г. значительно увеличилась интенсивность ТА 1, ТА 4, ТА 7 и ТА 9, но несколько ослабли ТА 12 и ТА 13. Съемки 2010 г. проводились с вертолета МИ-8 С.А. Чирковым ($H_{\text{абс.}} = 3000$ м). На рис. 1д, 1е приведены термограмма и фотосопровождение участка ТА 10, где хорошо видны белые возгоны, ранее в кратере конуса Савича не отмечавшиеся.

При проведении в октябре 2009 г. плановых облетов действующих вулканов было зафиксировано сильное парение вершины конуса Савича. На рис. 2а, 2б, 2в, 2г показано положение отдельных ТА (1–14).

Рассмотрим изменения температуры на конусе Савича, полученные в результате наземных измерений. В 1981 г. в кратере была отмечена $T = 52^\circ\text{C}$ (устное сообщение Г.А. Карпова). В августе 1982 г. на конусе Савича было зафиксировано всего несколько заметных парогазовых выходов

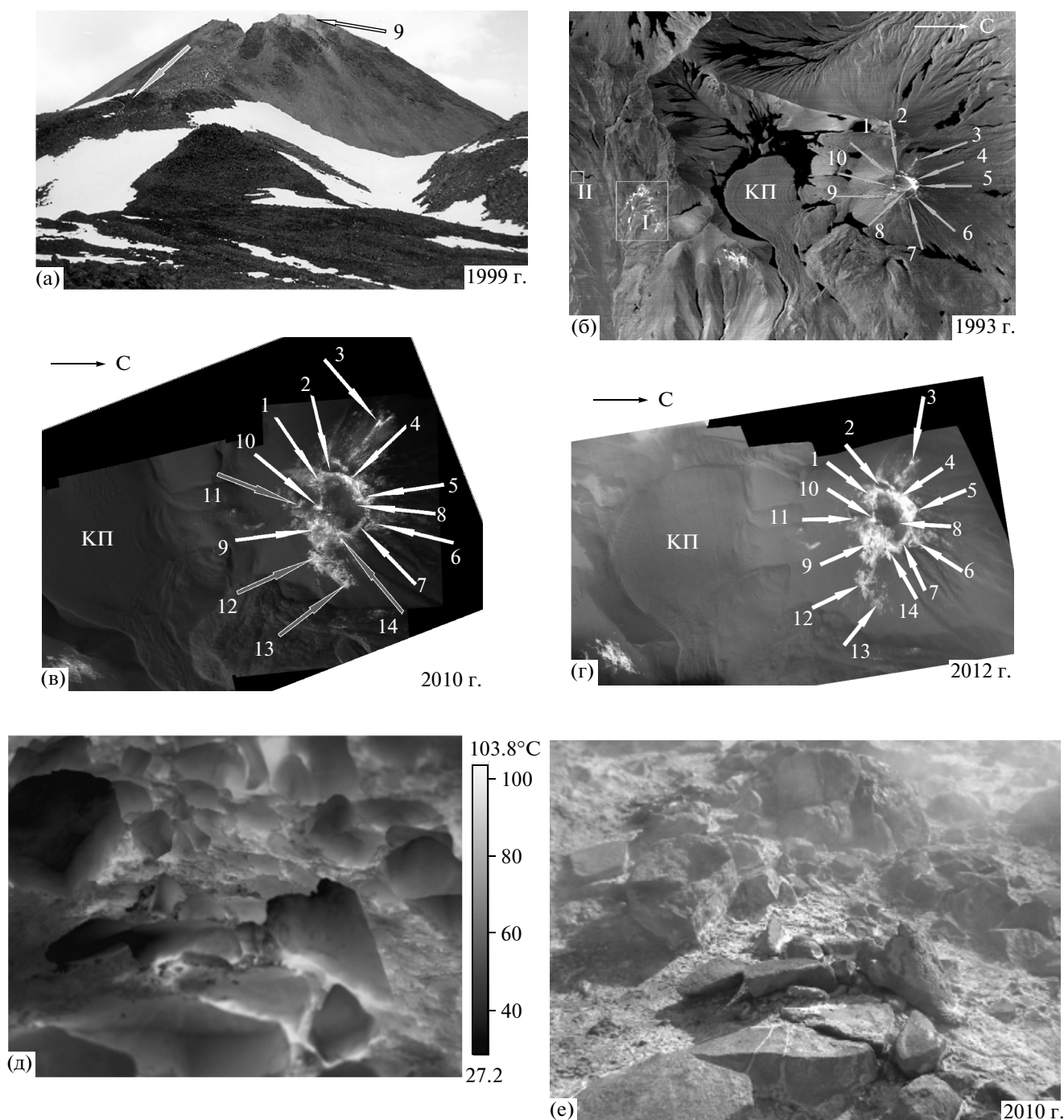


Рис. 1. Термоаномалии конуса Савича. Цифры около стрелок - № термоаномалий.
 а – конус Савича, вид с юго-востока (фото В.Л. Леонова, 1999 г.), стрелки: белая – ТА 9, серая – исток круглого потока;
 б – ИК-съемка 1993 г., *термальные поля* в кратере СК: ТП I – Северное, ТП II – Южное; в – ИК-съемка 2010 г. (серые стрелки – новые ТА); г – ИК-съемка 2012 г.; д – термограмма 2010 г., фрагмент ТА 10 в кратере конуса Савича; е – фото того же фрагмента. КП – круглый поток у подножия конуса Савича.

(рис. 3а), наиболее высокие температуры были в северо-западном секторе кратера $T = 72-76^{\circ}\text{C}$ ($T_{\text{max}} \sim 76^{\circ}\text{C}$), в восточном секторе кратера из фумаролы с $T = 63^{\circ}\text{C}$ была отобрана проба газа (табл. 1). Газ имел существенно воздушный состав,

содержание CO_2 всего 3.43%, в отличие от фумарол СК, где его содержание достигало 74–87%. Сернистые газы на конусе отсутствовали, в то время как в кратере СК в составе газа фумарол было определено 0.8–0.9% H_2S . На конусе содержание CH_4 в

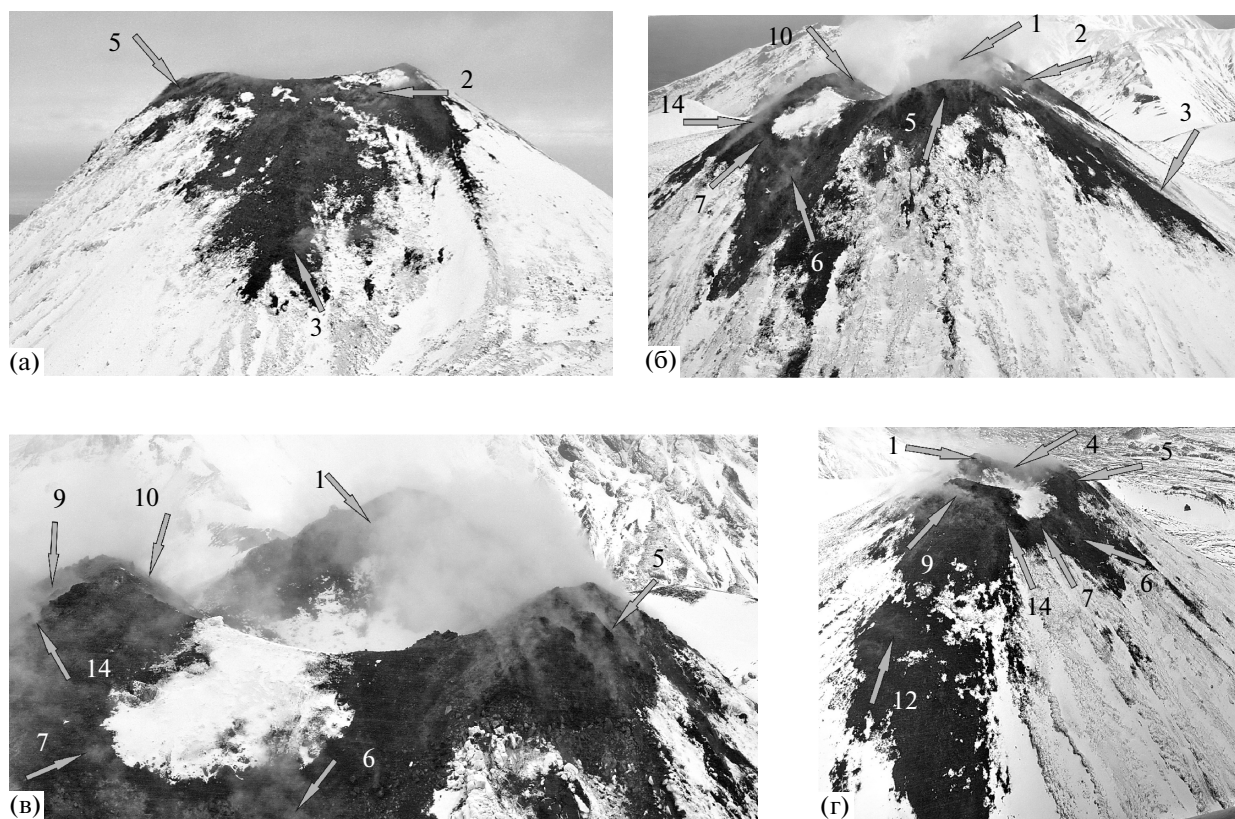


Рис. 2. Расположение некоторых термоаномалий на конусе Савича (фото С.В. Сокоренко, 2009 г.).

а–г – секторы: а – западный (стрелка показывает западный край ТА 2); б – северный; в – северо-восточный; г – восточный.

газе на несколько порядков ниже, чем в fumarолах в кратере СК. Поля I и II, на которых отбирались газы в кратере вулкана Старый Кихпинич, отмечены на рис. 16. На конусе Савича в 1982 г. анде-

зибазальты [Леонов, Гриб, 2004] на устьях fumarола были изменены до красных глин, какие-либо возгоны в кратере отсутствовали, даже гипсов не было, хотя в кратере СК они встречались часто. В

Таблица 1. Состав fumarольного газа на некоторых термальных полях КДВЦ

Компоненты	ТП II (СК)	ТП I (СК)	Конус Савича	*
	проба 810	проба 1067	проба 1058	Воздух
H ₂	н.о.	0.22	н.о.	5 · 10 ⁻⁵
O ₂	0.93	0.93	19.66	20.95
N ₂	18.66	6.2	76.03	78.09
Ar	0.19	0.03	0.88	0.93
CO ₂	73.64	87.17	3.43	0.03
H ₂ S	0.79	0.89	н.о.	
CH ₄	5.79	4.56	0.8 · 10 ⁻⁴	
C ₃ H ₈	0.98 · 10 ⁻⁴	н.о.	н.о.	
C ₃ H ₆	н.о.	2.5 · 10 ⁻⁴	н.о.	
T, °C	93	97	68	
O ₂ /N ₂	0.05	0.15	0.258	0.268

Примечание. н. о. – содержание ниже чувствительности метода. * – [Химический ..., 1983].

Анализы выполнены в ИВиС ДВО РАН. Аналитик: Е.Н. Декштейн.

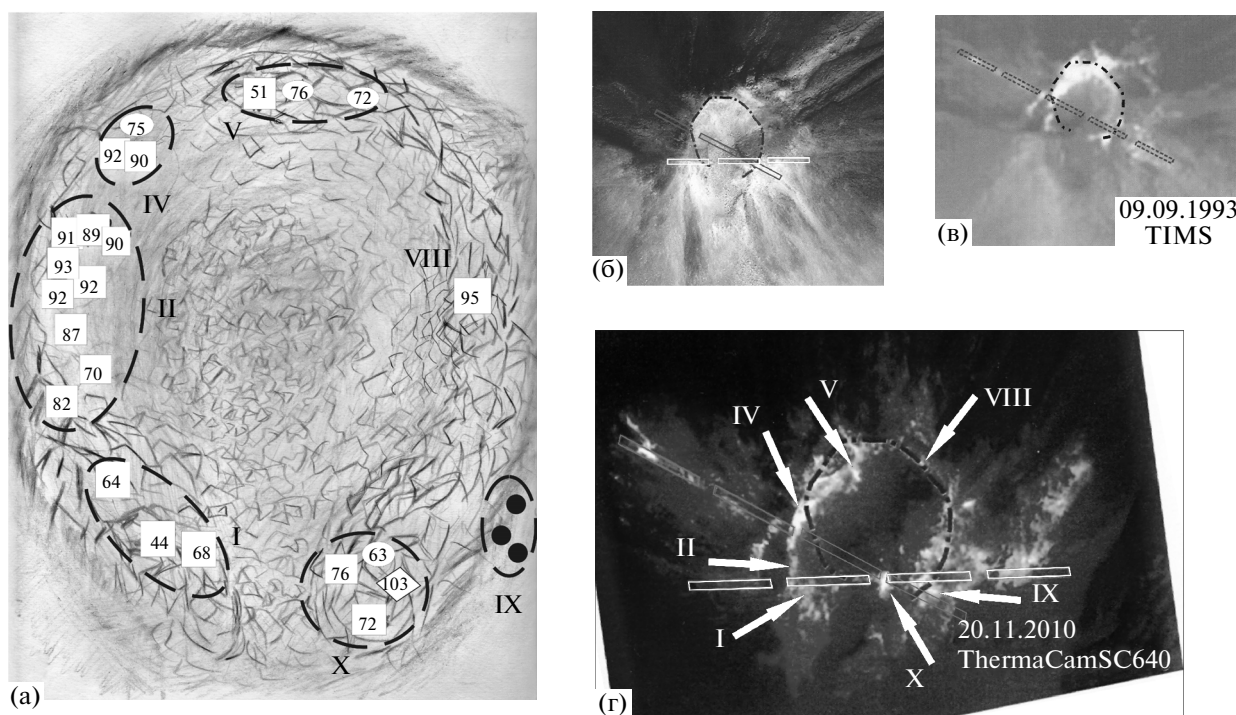


Рис. 3. Схема кратера конуса Савича, 31.08.1997 г.

а – температуры парогазовых выходов: в овалах – 1982 г; в квадратах – 1997 г; в ромбе – 2010 г; черные кружки – фумаролы. Оконтурены термоаномалии, их номера указаны римскими цифрами; б – конус Савича (фрагмент космического снимка, 2009 г.); в – термограмма, 1993 г. (снимок NASA); г – термограмма 2010 г. с номерами термоаномалий. На рис. 3б, 3в, 3г – кромка кратера обозначена штрих-пунктиром.

1997 г. в 18 точках была замерена температура парогазовых выходов (см. рис. 3а), $T_{max} \sim 95^{\circ}C$. В восточном секторе внешнего склона кратера были отмечены три парогазовых выхода. Проведенные 13.08.2010 г. наземные исследования конуса Савича позволили замерить тепловизором температуру внутренних склонов кратера. Площадки типа “парящий грунт” имели $T_{max} \sim 75^{\circ}C$, на устьях фумарол $T_{max} \sim 110^{\circ}C$ (см. рис. 3а).

На рис. 3б приведен фрагмент космического снимка высокого разрешения, на котором околонуна кромка кратера. На рис. 3в приведен снимок, выполненный в 1993 г. комплексом TIMS (NASA). На нем выделяются три группы аномалий, расположенных: а) по линии СЗ-ЮВ; б) по кратеру (в основном внутри кратера); в) по внешней по отношению к кратеру дуге на восточном склоне. Видно, что в группы объединяются аномалии различной интенсивности. На термограмме конуса, полученной 16.10.2010 г., т.е. спустя 17 лет, термоаномалии стали более пестрыми (см. рис. 3г). Структура аномалий изменилась. Выделим следующие группы: 1) по линии СЗ-ЮВ, но короче, чем предыдущая; 2) по кратеру; 3) новая субширотная группа. Сравнивая термограммы, можно заключить, что интенсивность в северной части кратера уменьшилась, в южной – увеличи-

лась. Восточный склон оказался более прогретым по сравнению с предыдущими годами.

В 2010 г. была снята панорама внутренних склонов кратера (рис. 4а), в том числе и в ИК-диапазоне (см. рис. 4б). Справа от стрелки 9 наблюдается проседание блока, выделяющегося кроме всего прочего и по характеру материала. На южной границе этого блока есть парогазовые выходы, около которых образуются белые сублиматы (см. рис. 1е). Подобные сублиматы были отмечены и в верхней зоне ТА 1.

На рис. 5а, 5б, 5в, 5г, 5д, 5е, 5ж, 5з показано местоположение ТА 1, ТА 2, ТА 3, ТА 4, ТА 10 в кратере конуса Савича. Наиболее мощные фумаролы сконцентрированы в верхней части ТА 1 (см. рис. 5а, 5б) у основания крупных глыб, расположенных по краям овальной площадки (см. рис. 5а). На устьях отдельных фумарол был слышен гул и шипение, что свидетельствует о достаточно высоком давлении газа при выходе на поверхность. Ни в 1982, ни в 1997 гг. таких явлений не наблюдалось.

Белой стрелкой на рис. 5а показан блок в кратере конуса Савича, поверхность которого похожа на зеркало скольжения. Ранее подобных образований в кратере не было. На рис. 5в, 5г белой стрелкой в районе ТА 4 отмечен коренной выход каплевидной формы, в верхней части которого

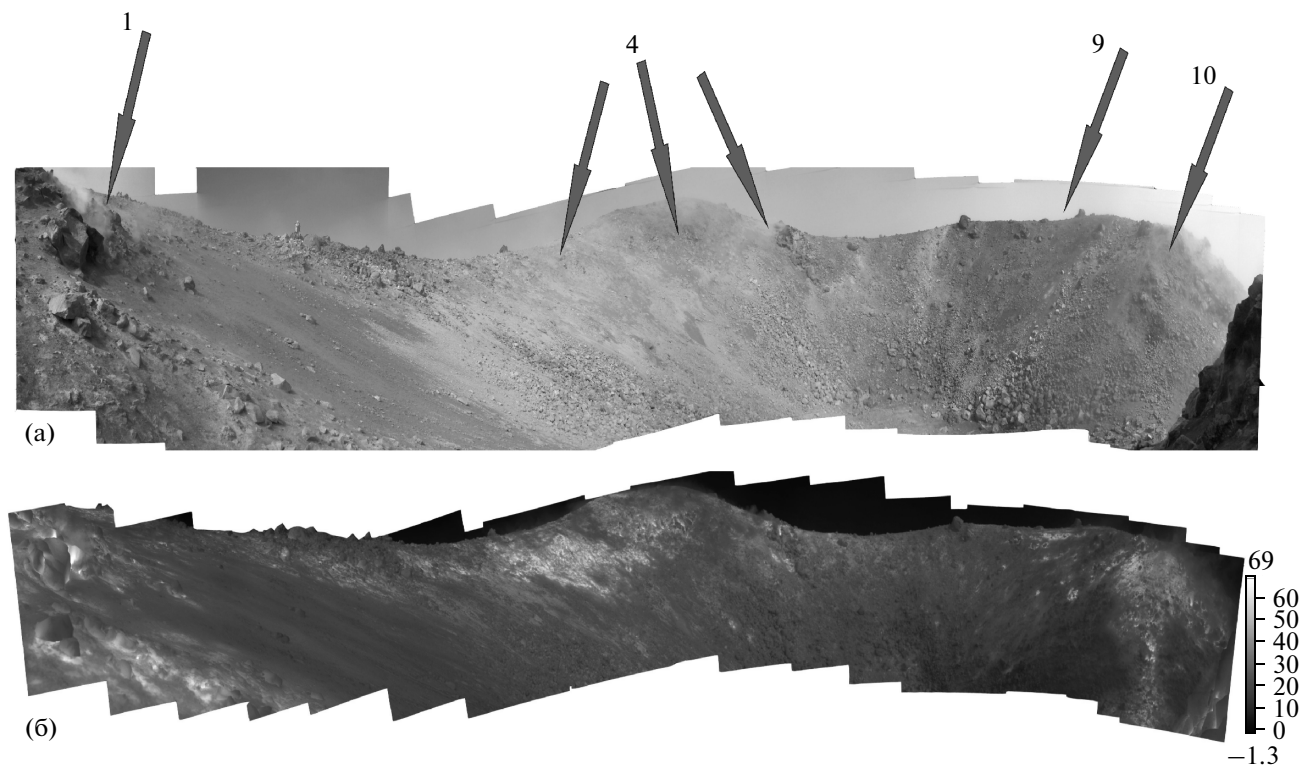


Рис. 4. Панорама кратера конуса Савича, 13.08.2010 г.

а – фотопанорама; б – соответствующая ей термограмма (ThermaCam P 640, °C). Цифры – № термоаномалий.

появилась фумарола (см. рис. 5г), которая отсутствовала в 1998 г. (см. рис. 5в). На рис. 5д показана ТА 10 в 1999 г., ее местоположение в 2010 г. хорошо видно на рис. 5е. Местоположение ТА 2 и ТА 3 приведено на рис. 5ж, более детально ТА 2 показана на рис. 5з. Расположение ТА 9 хорошо видно на рис. 1а. На кромке кратера и на внешних склонах конуса Савича парогазовые выходы отсутствовали в 1976–1982, 1986 и 1997 гг.

На топографической карте 1941 г. в районе южного окончания круглого потока (КП) у подножия конуса Савича было обозначение “гейзер”, в 2010 г. в этом месте видна воронка с двумя небольшими озерками на дне (рис. 6а, стрелка II). В течение многих лет подножие круглого потока было под снегом, даже в конце августа. В районе стрелки II (см. рис. 6б) в белом многолетнем снежнике выделялся участок, имевший голубоватый цвет (как бы подтаявший снизу). Стрелкой I на рис. 6а и 6б показан ручей, вытекающий из-под осыпи с середины западного склона. Железистый осадок в русле ручья, четко видимый на фото 2010 г., отсутствовал в 1982 году. Ручей также вытекал из-под осыпи, но уходил под снежник. В его истоке в 1982 г. была отобрана проба воды, ее состав приведен в табл. 2 (проба 1060). Это кислая SO_4 –Ca вода, в ней присутствовало заметное количество Al

(28.1 мг/л) и всего 0.5 мг/л Fe^{3+} (см. табл. 2), а также 3.8 мг/л NH_4^- и 2.7 мг/л H_3BO_3 . У основания круглого потока на поверхности снежника (см. рис. 6б) стрелкой II отмечено “верховое” озеро, из которого в 1997 г. была отобрана проба воды (см. табл. 2, проба 1534). Вода близнеутральная, соотношение $Cl : HCO_3^- : SO_4 = 1 : 1 : 1$. На месте отбора этой пробы в августе 2010 г. была видна воронка, на дне которой два озерка с зеленоватой водой (см. рис. 6в), восточное озерко меньше западного. Не исключено, что раствор в озерках представлен конденсатами фумарольных газов, которые разбавляются водой ручья, обозначенного стрелкой I (см. рис. 6а, 6б). На этих рисунках стрелкой III показана каменная гряда, служащая привязкой.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Исследователи, занимавшиеся историей активности вулкана Кихпиньч [Брайцева и др., 1985; Пономарева, Брайцева, 1990; Новейший ..., 2005], считают, что длительный период покоя (~500 лет), скорее всего, представляет собой период между крупными циклами активности. Но не исключают и того, что современный период покоя является лишь перерывом в ходе нормальной деятельности конуса Савича. Интервал меж-

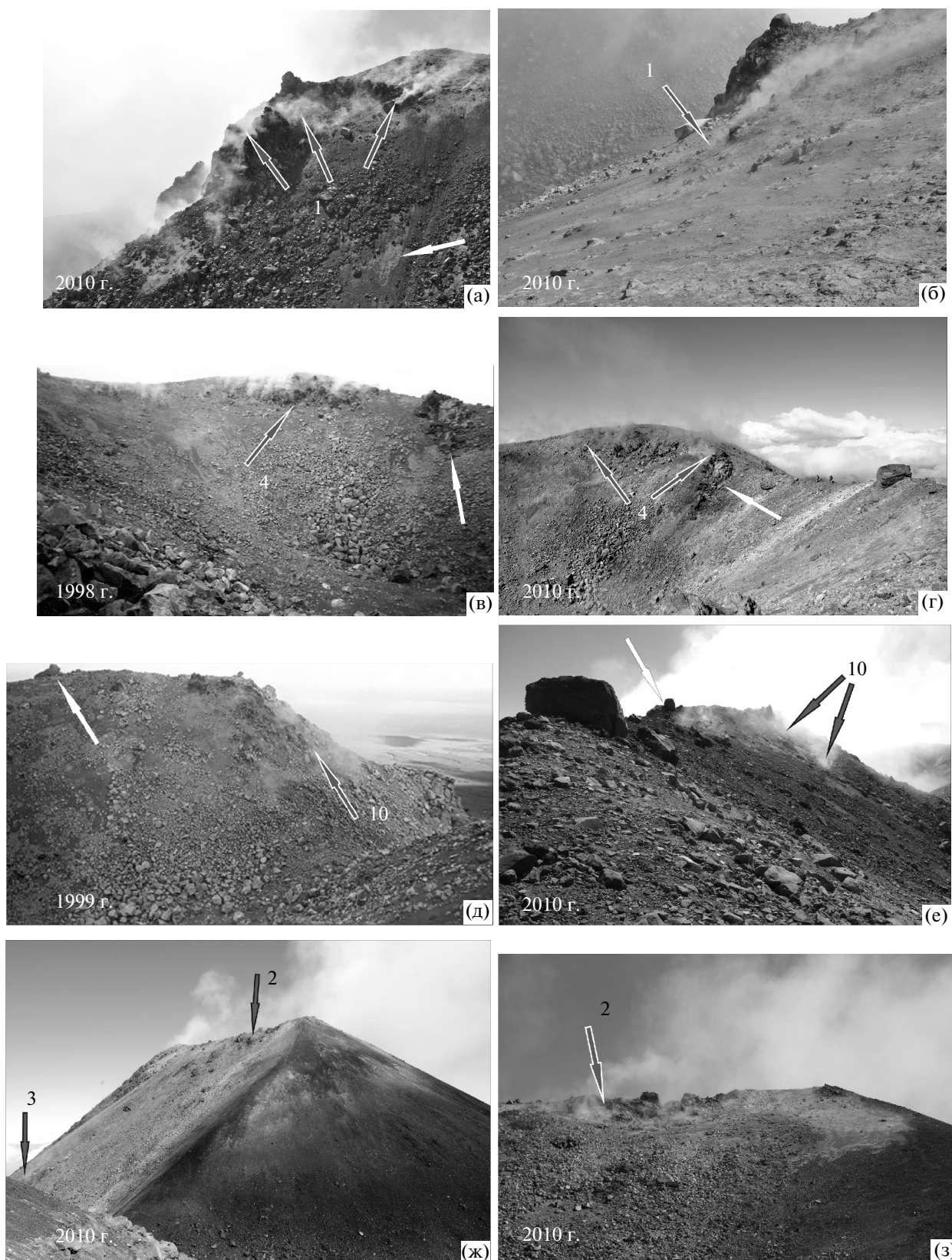


Рис. 5. Расположение термоаномалий на конусе Савича (фото: а, б, г, е–з – Я.Д. Муравьева; в, д – И.Б. Слоцова). а–б – отдельные фрагменты ТА 1; в–г – ТА 4; д–е – ТА 10; ж – ТА 2–ТА 3 (стрелка 2 указывает на западный край ТА 2); з – более детально ТА 2 (стрелка показывает восточный край этой ТА, западный – вне кадра). Белыми стрелками показаны объекты: а – блок с поверхностью, похожей на зеркало скольжения; в, г – коренной выход, имеющий каплевидную форму; д, е – характерный блок, служащий привязкой.

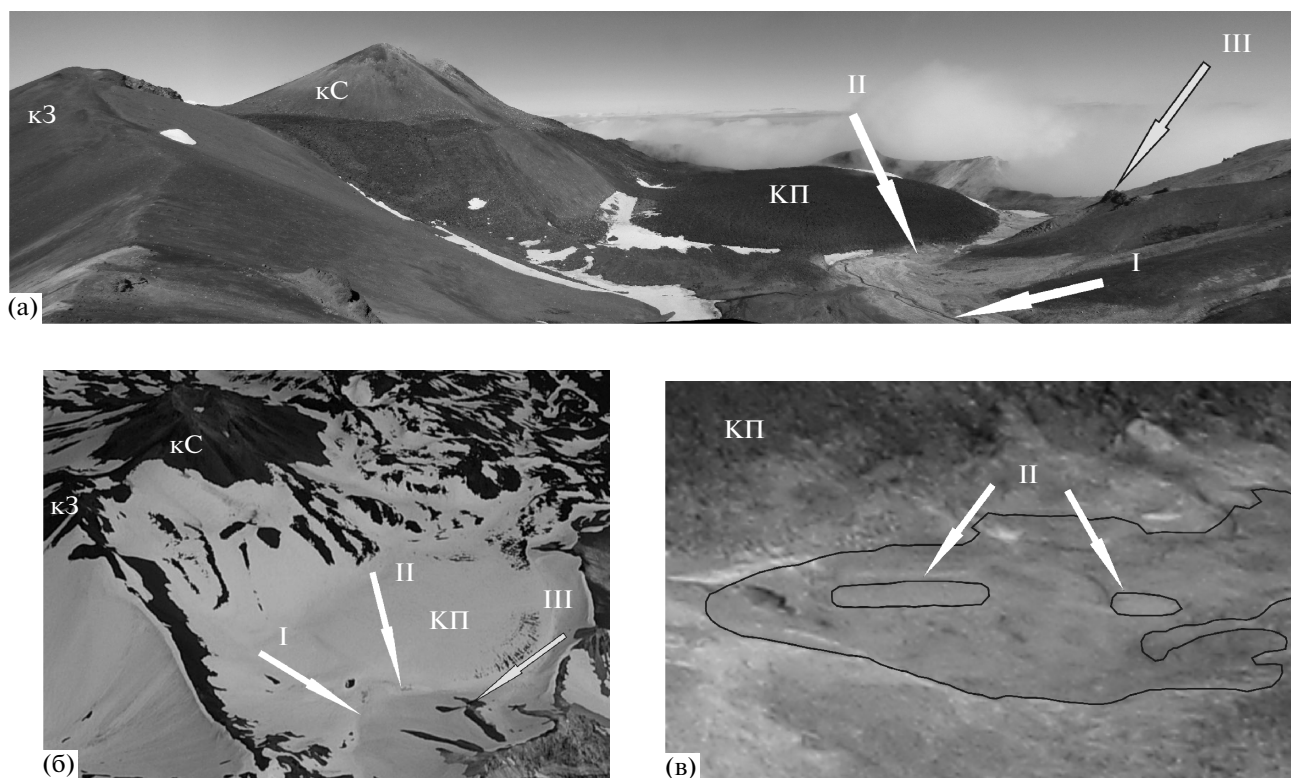


Рис. 6. Источники вблизи круглого потока у подножия конуса Савича.

а – панорама: конус Савича (КС), конус Западный (кЗ) и круглый поток (фото С.А. Чиркова, 2010 г.); б – вид на круглый поток и конус Савича с ЮЗ (фото Я.Д. Муравьева, 2009 г.); в – южный край круглого потока (фрагмент рис. ба). Стрелки: I – источник на западном склоне цирка; II – озерки у основания круглого потока; III – каменная гряда, служащая привязкой.

ду извержениями и раньше составлял от 200 до 400 лет, и тогда, по их мнению, можно ожидать извержения вулкана Кихпиныч в ближайшем будущем.

В 2001–2003 гг. было зафиксировано поднятие примерно на 15 см в районе восточного борта Узон-Гейзерной депрессии [Lundgren, Lu, 2006]. В 2009 г. для реконструкции глубинной структуры Узон-Гейзерной депрессии были организованы геофизические наблюдения методом микросейсмического зондирования. По результатам этих работ [Кугаенко и др., 2010а, 2010б] получено согласие геометрии обнаруженных глубинных структур с моделью внедрения магмы в верхние горизонты коры, предполагаемой по данным спутниковой интерферометрии [Lundgren, Lu, 2006]. Предполагаемая ими форма современного внедрения магмы определена как тонкий силл, распространяющийся по ослабленному зоне земной коры. Вполне закономерно, что такие события, как поднятие на 15 см в районе восточного борта Узон-Гейзерной депрессии, должны были как-то проявиться в районе КДВЦ, в том числе и на конусе Савича. В последнее время в верхней части конуса резко повысилась температура, появились новые термоаномалии и

новые большие прогретые площадки на склонах конуса.

Результаты полевых сейсмологических наблюдений в исследуемом районе приведены в статье [Кугаенко и др., 2010в]. Было зафиксировано большое число землетрясений, не регистрируемых региональной сетью, и подтверждена локальная сейсмическая активность низких энергетических классов. Распределение гипоцентров локальных сейсмических событий согласуется с глубинной моделью источника поверхностной деформации, разработанной по данным SAR-интерферометрии [Lundgren, Lu, 2006].

Землетрясения сосредоточены в двух пространственно разобщенных группах событий, связанных с КДВЦ [Кугаенко и др., 2010в]. Немногочисленные слабые землетрясения первой группы фиксируются на глубине 2–5 км. Наклонная плоскость, огибающая гипоцентры этой группы, погружается от Долины Гейзеров на запад, под зону экстрезивных куполов в восточной части депрессии. Вторая группа связана с зоной гидротермальных проявлений на западном склоне вулкана Старый Кихпиныч и захватывает диапазон глубин до 2 км. Зарегистрированные

Таблица 2. Состав воды в районе круглого потока (у конуса Савича)

Компоненты	Проба 1060, ручей на склоне			Проба 1534, верховое озерко		
	мг/л	мг-экв.	мг-экв. %	мг/л	мг-экв.	мг-экв. %
H ⁺	0.5	0.65	9.26			
NH ₄ ⁺	3.8	0.21	2.99	<0.1		
Na ⁺	3.1	0.13	1.85	0.5	0.02	31.75
K ⁺	0.5	0.01	0.14	0.1	0.003	4.76
Ca ²⁺	48.0	2.40	34.19	0.8	0.04	63.49
Mg ²⁺	6.0	0.48	6.84	<0.1		
Mn ²⁺	<0.2			<0.2		
Fe ²⁺	<0.3			<0.3		
Fe ³⁺	0.4	0.02	0.28	<0.3		
Al ³⁺	28.1	3.12	44.45	<0.3		
ΣК	90.5	7.02	100	1.4	0.063	100
Cl ⁻	н.о.			0.7	0.02	30.77
F ⁻	н.о.			0.06	0.005	7.69
HCO ₃ ⁻	н.о.			1.2	0.02	30.77
SO ₄ ²⁺	300.0	6.24	98.71	1.0	0.02	30.77
HSO ₄ ⁻	7.8	0.08	1.29			
ΣА	307.8	6.32	100	2.96	0.065	100
H ₃ BO ₃	2.7			<1.2		
H ₄ SiO ₄ кол.	н.о.			<2		
H ₄ SiO ₄ раств.	н.о.			<2		
М, г/л	0.40			0.044		
рН л.	3.32			6.26		
Т, °С	<16			<16		
Год отбора	16.08.1982			30.08.1997		

Анализы выполнены в ИВиС ДВО РАН. Аналитик: С.В. Сергеева.

сейсмические события в [Кугаенко и др., 2010в] рассматриваются как одно из проявлений активности КДВЦ и как свидетельство продолжающегося развития Кихпинычского вулканического центра.

В данной статье показано, что в последние годы резко повысилась температура верхней части конуса Савича, особенно на его внешних склонах. В кратере конуса в 1982 г. наблюдалось всего несколько слабых фумарол, в 1997 г. их количество заметно увеличилось (см. рис. 3). В 2010 г. по сравнению с 1993 г. количество термоаномалий возросло с 10 до 14, на конусе появились прогретые площадки типа “парящий грунт”. Белые возгоны (см. рис. 1е), обнаруженные в юго-западном

и юго-восточном секторах кратера, в предшествующие годы отсутствовали. В юго-западном и западном секторах кратера появились, или точнее сказать, проявились два новых объекта, показанных белыми стрелками (см. рис. 5а, 5в, 5г), которых раньше не было. Вероятно, их появление на поверхности связано со смещением материала конуса в результате землетрясений, произошедших после 1982 г., например, в 1983 или 1997 гг., когда вулкан Кихпиныч находился в 6-балльной зоне [Гусев и др., 1998; Зобин и др., 1985, 1986]. Отдельные смещения сегментов, проседание некоторых участков конуса могли быть откликом на сильные землетрясения с $M \geq 6.8$ (1983, 1996, 1997 гг.). Свою лепту мог внести и сход оползня по ручью Во-

допадному в 2007 г. Авторы данной статьи ранее обращали внимание на то, что в этом районе наблюдается оживление глубинных процессов под вулканом Кихпиныч, приводящих к сходу лахаров и оползней, обрушениям, и, кроме того, проявляющихся в усилении термальной деятельности на конусе [Карданова, Дубровская, 1994, 2005]. Об активности КДВЦ свидетельствует также обнаружение в районе западного склона вулкана СК большого числа землетрясений, не регистрируемых региональной сетью, наличие локальной сейсмической активности низких энергетических классов [Кугаенко и др., 2010в].

В районе восточного борта Узон-Гейзерной депрессии, в районе Верхне-Гейзерного термального поля (выше водопада Тройной), 04.01.2014 г. произошло обрушение и оползень [Леонов, 2014], свидетельствующие о продолжающейся активности в районе КДВЦ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Показано, что процессы, происходящие на конусе Савича и в районе кратера вулкана Старый Кихпиныч, свидетельствуют об активизации процессов, идущих на глубине под вулканом Кихпиныч. Изучение конуса Савича требует к себе самого пристального внимания. Необходимо отметить, что по 1997 г. включительно, ни на склонах конуса Савича, ни над его кромкой фумарол не было видно. Но за последнее время заметно усилились следующие процессы:

- 1) резко повысилась температура в верхней части конуса;
- 2) образовались новые термоаномалии и новые большие прогретые площадки на склонах конуса;
- 3) появились белые возгоны в юго-восточном и юго-западном секторах кратера, которых не было ранее;
- 4) в районе ТА 1 в 2010 г. из устьев некоторых фумарол газ вырывается под большим давлением (с шумом, свистом);
- 5) резко возросло количество фумарол.

Необходим мониторинг температуры и газового состава фумарол в кратере Савича, а также воды в озерах у южного подножия круглого потока. Такие данные помогут более четко отследить динамику процессов, происходящих под вулканом Кихпиныч, и позволят избежать последствий от возможных его будущих извержений.

Авторы благодарны В.Л. Леонову, И.Б. Словцову, А.В. Сокоренко, С.А. Чиркову за предоставление фотографий конуса Савича.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Белоусов В.И.* Геология гидротермальных полей в областях современного вулканизма. М.: Наука, 1978. 137 с.
- Брайцева О.А., Флоренский И.В., Вольнец О.Н.* Вулкан Кихпиныч // Действующие вулканы Камчатки. В 2-х томах. Т. 2. М.: Наука, 1991. С. 74–91.
- Брайцева О.А., Флоренский И.В., Пономарева В.В. и др.* История активности вулкана Кихпиныч в голоцене // Вулканология и сейсмология. 1985. № 6. С. 3–19.
- Гусев А.А., Левина В.И., Салтыков В.А., Гордеев Е.И.* Сильное Кроноцкое землетрясение 5 декабря 1997 года: основные данные, сейсмичность очаговой зоны, механизм очага, макросейсмический эффект // Кроноцкое землетрясение на Камчатке 5 декабря 1997 г. Предвестники, особенности, последствия. Петропавловск-Камчатский: Издательство Камчатской государственной академии рыбопромыслового флота, 1998. С. 32–49.
- Зобин В.М., Гордеев Е.И., Синельникова Л.Г. и др.* Землетрясения Камчатки и Командорских островов // Землетрясения в СССР в 1982 году. М.: Наука, 1985. С. 83–94.
- Зобин В.М., Гордеев Е.И., Синельникова Л.Г. и др.* Землетрясения Камчатки и Командорских островов // Землетрясения в СССР в 1982 году. М.: Наука, 1985. С. 223–243.
- Зобин В.М., Гордеев Е.И., Козырева Н.П. и др.* Камчатское землетрясение 17 августа 1983 года // Землетрясения в СССР в 1983 году. М.: Наука, 1986. С. 102–116.
- Карданова О.Ф., Дубровская И.К.* Состояние кратера вулкана Старый Кихпиныч с 1980 по 1989 гг. // Вулканология и сейсмология. 1994. № 1. С. 19–33.
- Карданова О.Ф., Дубровская И.К.* Морфологические изменения на термальных полях Кихпинычского долгоживущего вулканического центра // Материалы ежегодной конференции, посвященной Дню вулканолога, 30–31 марта 2004 г., г. Петропавловск-Камчатский. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2005. С. 59–69.
- Кугаенко Ю.А., Горбатилов А.В., Салтыков В.А., Степанова М.Ю.* Первые результаты исследования структуры земной коры под районом Узон-Гейзерной вулканотектонической депрессии методом микросейсмического зондирования // Материалы конференции, посвященной Дню вулканолога, 30–31 марта 2010 г., Петропавловск-Камчатский. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2010а. С. 157–166.
- Кугаенко Ю.А., Салтыков В.А., Горбатилов А.В., Степанова М.Ю.* Глубинная структура района Узон-Гейзерной вулканотектонической депрессии по данным микросейсмического зондирования // ДАН. 2010б. Т. 435. № 1. С. 96–101.
- Кугаенко Ю.А., Салтыков В.А., Коновалова А.А.* Локальная сейсмичность района Долины Гейзеров по данным полевых наблюдений 2008–2009 гг. // Вестник КРАУНЦ. Сер. Науки о Земле. 2010в. № 1. Вып. № 15. С. 90–99.
- Леонов В.Л.* Обвал и оползень, произошедшие 4 января 2014 г. в Долине Гейзеров, Камчатка, и их последствия // Вестник КРАУНЦ. Сер. Науки о Земле. 2014. № 1. Вып. 23. С. 7–20.
- Леонов В.Л., Гриб Е.Н.* Структурные позиции и вулканизм четвертичных кальдер Камчатки. Владивосток: Дальнаука, 2004. 189 с.

Новейший и современный вулканизм на территории России. М.: Наука, 2005. 604 с.

Пономарева В.В., Брайцева О.А. Вулканическая опасность для района Кроноцкое озеро – Узон – Долина Гейзеров // Вулканонология и сейсмология. 1990. № 1. С. 27–44.

Химический энциклопедический словарь. М.: Советская энциклопедия, 1983. 792 с.

Lundgren P., Lu Zh. Inflation model of Uzon caldera, Kamchatka, constrained by satellite radar interferometry observations // Geophys. Res. Lett. 2006. V. 33. L06301, doi:10.1029/2005GL025181

Thermal Anomalies on Savich Cone, Kikhpinych Volcano, Kamchatka: IR Surveys and Land-Based Observations for 30 Years (1982 through 2012)

O. F. Kardanova, I. K. Dubrovskaya, and Ya. D. Murav'ev

*Institute of Volcanology and Seismology, Far East Branch, Russian Academy of Sciences,
bul'var Piipa 9, Petropavlovsk-Kamchatskii, 683006 Russia*

e-mail: kof@kscnet.ru

Received August 4, 2014

Abstract—An analysis of data from nadir aerial thermal surveys of 2010 and 2012, as well as from a land-based IR survey of 2010, showed changes in the thermal regime of anomalies on Savich Cone (Kikhpinych Volcano, Kamchatka) compared with the 1982 and 1993 surveys. It was noted that the temperature increased in the upper part of the cone, new warm patches appeared in the near-crater zone of the cone, and white sublimates appeared in the southwestern and southeastern sectors of the crater. The last feature was new.