

## Экспедиции, полевые семинары, практики

УДК 551.21/23

DOI: 10.31431/1816-5524-2024-1-61-101-113

### ЭКСПЕДИЦИОННЫЕ РАБОТЫ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ВОСТОЧНОГО ВУЛКАНИЧЕСКОГО ПОЯСА И В ДОЛИНЕ р. КАМЧАТКА В 2023 г.

© 2024 Е.Г. Калачева

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, Россия, 683006;  
e-mail: keg@ksnet.ru*

Поступила в редакцию 18.10.2023 г.; после доработки 19.01.2024 г.; принята в печать 25.03.2024 г.

Приводится краткая характеристика экспедиционных работ, проведенных сотрудниками Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН в центральной части Восточного вулканического пояса и в долине р. Камчатка летом-осенью 2023 г. С целью изучения условий формирования и разгрузки термальных вод крупных вулканических центров, для оценки гидротермального выноса магматических летучих (в первую очередь  $\text{CO}_2$ ), проведено гидрохимическое и газовое опробование на термальных полях вулканических массивов Кихпиныч, Большой Семячик и кальдеры Узон. Параллельно с геохимическим опробованием выполнялась аэрофото- и инфракрасная съемка термальных площадок. Для определения степени влияния вулканической и гидротермальной деятельности на ионный сток в акваторию Тихого океана выполнены гидрохимические и гидрологические работы в долине р. Камчатка. Комплексному исследованию уникальных щелочных холодных источников были посвящены работы в долине р. Белая (п-ов Камчатский Мыс). Для дальнейших аналитических исследований в ходе экспедиционных работ отобрано большое число водных и газовых проб, осадков и минеральных солей.

*Ключевые слова: Камчатка, вулкан, термальные воды, эмиссия  $\text{CO}_2$ .*

В августе-сентябре 2023 г. сотрудниками Института вулканологии и сейсмологии (ИВиС) ДВО РАН на территории Камчатского края, включая центральную часть Восточного вулканического пояса (вулканы Кихпиныч, Большой Семячик, Малый Семячик, кальдера Узон), долину р. Камчатка и полуостров Камчатский Мыс (рис. 1), были проведены экспедиционные исследования.

Работы в центральной части Восточного вулканического пояса были направлены на решение нескольких взаимосвязанных задач: 1) изучение геохимических особенностей термальных вод, разгружающихся на склонах активных вулканов и их связь с вулканическими процессами; 2) оценка гидротермального выноса магматических летучих (С1 и S) комбинированными методами, включая: а) прямое опробование

парогазовых выходов, термальных источников и поверхностных водотоков; б) оценка диффузионного потока  $\text{CO}_2$  методом накопительной камеры; 3) определение степени влияния гидротермальной деятельности на химический состав речных вод, дренирующих термальные площадки.

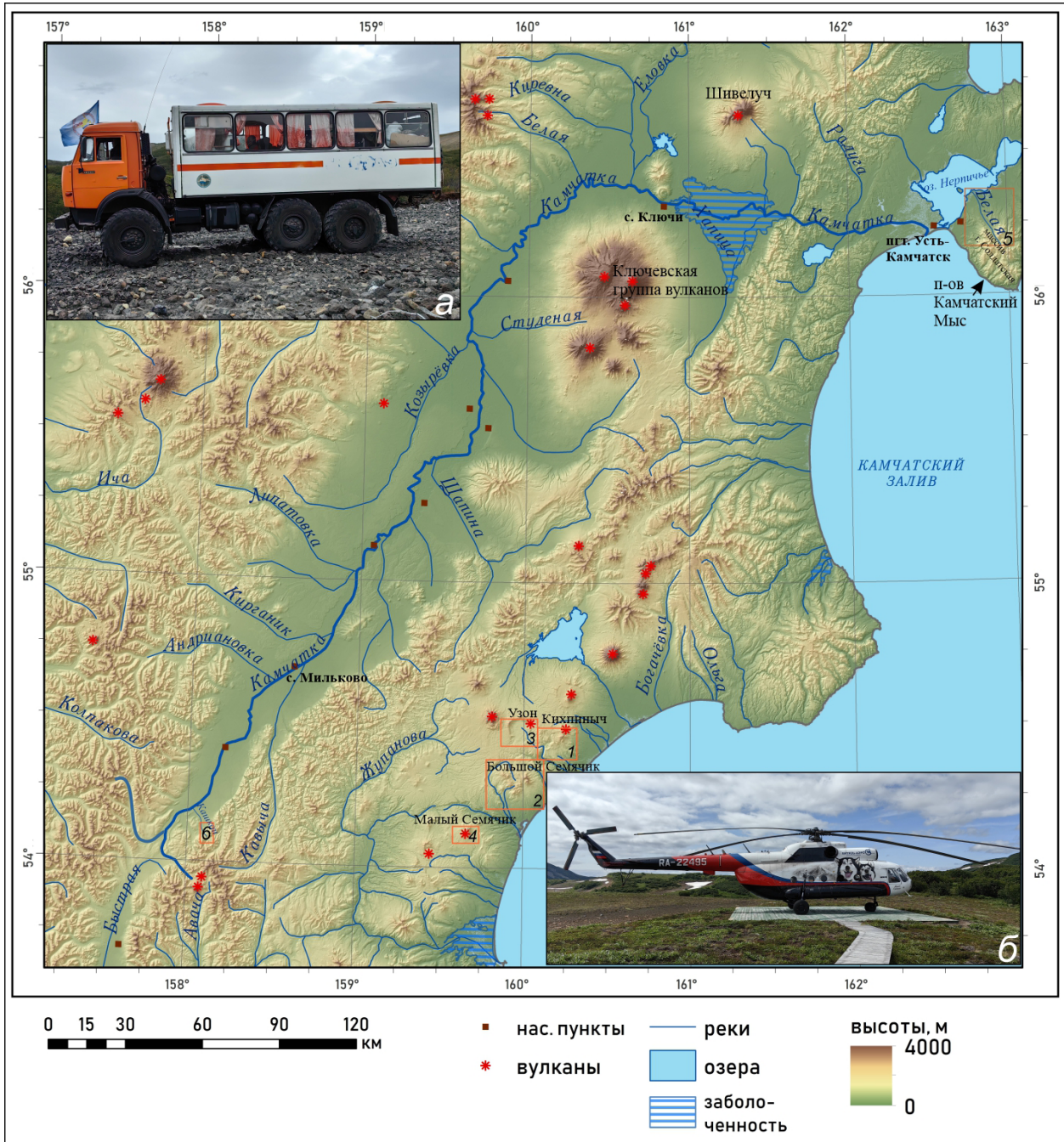
Работы в долине р. Камчатка были посвящены изучению влияния продуктов вулканической и гидротермальной деятельности на гидрохимию главной водной артерии полуострова и ее основных водотоков, особое внимание оказано районам, подвергшимся пеплопаду извержения вулкана Шивелуч, произошедшего в апреле 2023 г.

На северо-западном склоне массива г. Солдатская, п-ов Камчатский Мыс (п-ов Камчатский), в долине р. Белая проведено комплексное гидролого-геохимическое исследование щелочных (рН~12) холодных (4–6 °С) источников.

Регулярное транспортное сообщение с восточным побережьем центральной части Камчатки отсутствует, поэтому для доставки людей и экспедиционного груза к местам базирования на массивах вулканов Кихпиных, Большой Семячик и кальдеры Узон был арендован вертолет

Ми-8 авиакомпании «ВИТЯЗЬ-АЭРО» (рис. 1, врезка б).

Первая часть экспедиции, охватывающая площадь массива Кихпинич и Большой Семячик (рис. 1) состоялась в период с 01 по 18 августа, вторая часть — исследования в кальдере Узон



**Рис. 1.** Район проведения экспедиционных работ 2023 г. Долина р. Камчатка и центральная часть Восточного вулканического пояса. В прямоугольниках выделены объекты исследования: 1 — вулкан Кихпинич, 2 — вулкан Большой Семячик, 3 — кальдера Узон, 4 — вулкан Малый Семячик, 5 — долина р. Белая, 6 — долина р. Кашкан (Пушкинские источники). На врезках показаны транспортные средства, задействованные для полевых работ: вахтовка НЕФАЗ (ИВиС ДВО РАН) (а); вертолет МИ-8 (ООО АК ВИТЯЗЬ-АЭРО) (б).

**Fig. 1.** 2023 expedition work areas in Kamchatka: 1 — Kikhpinych volcano, 2 — Bolshoy Semyachik volcano, 3 — Uzon caldera, 4 — Maly Semyachik volcano, 5 — Belaya River valley, 6 — Kashkan River valley (Pushchino springs). The insets show the vehicles used for field work: NEFAZ rotational truck (а); MI-8 helicopter (б).

(рис. 1) — выполняли с 27 сентября по 5 октября. В составе полевого отряда на отдельных этапах работ принимало участие от 4 до 8 сотрудников ИВиС ДВО РАН (рис. 2).

Полевые работы в долине р. Камчатка и на п-ве Камчатский Мыс (рис. 1) осуществлялись с использованием автотранспорта из автопарка ИВиС ДВО РАН. Весь путь от г. Петропавловск-Камчатский до массива г. Солдатская с установкой временных лагерей (2–4 суток) в местах проведения исследований проделан на вахтовке повышенной проходимости (НЕФАЗ) (рис. 1., врезка а). Полевой выезд проходил с 5 по 15 сентября.

В публикации, в основном, использованы фотографии автора. Фотографии, сделанные другими участниками экспедиции, отмечены в подписях.

## ОБЗОР ПРОВЕДЕННЫХ РАБОТ

**Вулканический массив Кихпиньч** (рис. 1, рис. 2а) включает несколько разновозрастных сооружений. Наиболее древней постройкой является сильно разрушенный эрозионными и ледниковыми процессами средне-верхнеплейстоценовый базальтовый вулкан Старый Кихпиньч. Он служит основанием для более молодых образований: дацитового позднеплейстоценового вулкана Сопка Желтая и голоценового базальтового вулкана Молодой Кихпиньч, состоящего из двух слившихся конусов. Конус Савича, сформировавшийся около 1400 лет назад — действующий, в кратере наблюдается постоянная фумарольная деятельность (Брайцева и др., 1991). К постройке вулкана приурочена крупная гидротермальная система, основная разгрузка которой сосредоточена на юго-западном склоне массива в долине р. Гейзерная. Крупное сольфатарное поле расположено в кратере вулкана Старый Кихпиньч. Полевые работы 2023 г. были сосредоточены на термальных полях, расположенных в верховьях р. Гейзерная (Долина Смерти, Южно-Кихпиньчевское и Верхне-Гейзерное термальные поля) (рис. 2, 3)

В Долине Смерти, получившей свое название из-за массовой гибели животных, наблюдавшейся в 1970-е гг. (Леонов, 2015), впервые было выполнено площадное измерение потока  $\text{CO}_2$  (рис. 2б). Для изучения диффузионного потока углекислого газа использовалась портативная система для анализа почвенного газообмена фирмы PP-Systems (США), состоящая из газоанализатора EGM-5, рабочей камеры для измерения почвенной респирации SRC-2 и датчика температуры и влажности почвы Hydra Probe. На Южно-Кихпиньчевском (рис. 2е) и Верхне-Гейзерном (рис. 2ж) термальных

полях выполнена комплексная геохимическая съемка, включающая гидрохимическое и газовое опробование термопроявлений, отбор солевых отложений и осадков, формирующихся вблизи выходов. Основными видами термопроявлений на данных полях являются разнообразные по размерам и формам водные/водно-грязевые котлы, а также парогазовые струи (рис. 2д–з). Наиболее мощные выходы перегретого пара наблюдаются на Верхне-Гейзерном поле. В этой части р. Гейзерной произошел крупный обвал, перегородивший узкую долину и ставший причиной образования подпрудного озера (рис. 2з, рис. 3а). Часть термопроявлений, находившихся вблизи русла реки, оказались под водой и в настоящее время фиксируются воронками, со дна которых поднимается струйки газа (рис. 2з). На всех дренирующих термопроявления водотоках, на основной водной артерии района р. Гейзерной и на ее притоках, выполнены гидрологические работы. Параллельно с опробованием, на каждом их полей проведены аэрофотографическая и инфракрасная съемки. В ходе рекогносцировочного маршрута к кромке кратера вулкана Старый Кихпиньч (рис. 3а), был обнаружен ряд слобокислых ( $\text{pH}=5.4-6$ ) углекислых источников с температурой воды до  $22\text{ }^\circ\text{C}$  (рис. 3б, 3в). Выходы подземных вод на поверхность сопровождаются интенсивным осаждением гидроокислов железа. Новые кислые ( $\text{pH}=2.9-3.1$ ) горячие ( $84\text{ }^\circ\text{C}$ ) источники были выявлены и у русла одного из истоков р. Гейзерная, формирующегося из-под вершины Сопки Желтая (рис. 3а, 3г–е). Наиболее крупный из них стекает каскадом в водоток (е), интенсивно газифицирующий находится во врезе бокового притока (д), серия небольших источников струйками выбиваются под напором из трещин в цементированных отложениях у уреза воды ручья (е).

**Вулканический массив Большой Семячик** расположен между кальдерой Узон и Карымским вулканическим центром и представляет собой сложное сооружение с одноименной кальдерой диаметром около 10 км (рис. 4а). Он состоит из множества небольших, слившихся основаниями, разновозрастных вулканов и ряда экстрезивных куполов. Современная активность проявляется в виде сольфатарной деятельности, сосредоточенной в кратерах вулканов Центральный Семячик и Бурлящий (рис. 4а). У подножия восточного склона массива находятся многочисленные выходы термальных вод (Средне- и Нижне-Семячинские источники).

Вулкан Бурлящий — это царство пара и кипящих котлов. Самые мощные паровые струи сосредоточены на Верхнем термальном поле (рис. 4а, 4б). Температура отдельных перегретых



**Рис. 2.** Термальные поля вулканического массива Кихпинич (а). Долина Смерти (б); Измерение потока  $\text{CO}_2$  в Долине Смерти (в); Южно-Кихиничевское поле (г–д); Верхне-Гейзерное поле (е–з).

**Fig. 2.** Thermal fields of the Kikhpinych volcanic massif (a). Death Valley (b); Measuring  $\text{CO}_2$  flow in the Death Valley (v); South Kikhinichevskoye field (g–d); Verkhne-Geyser field (e–z).



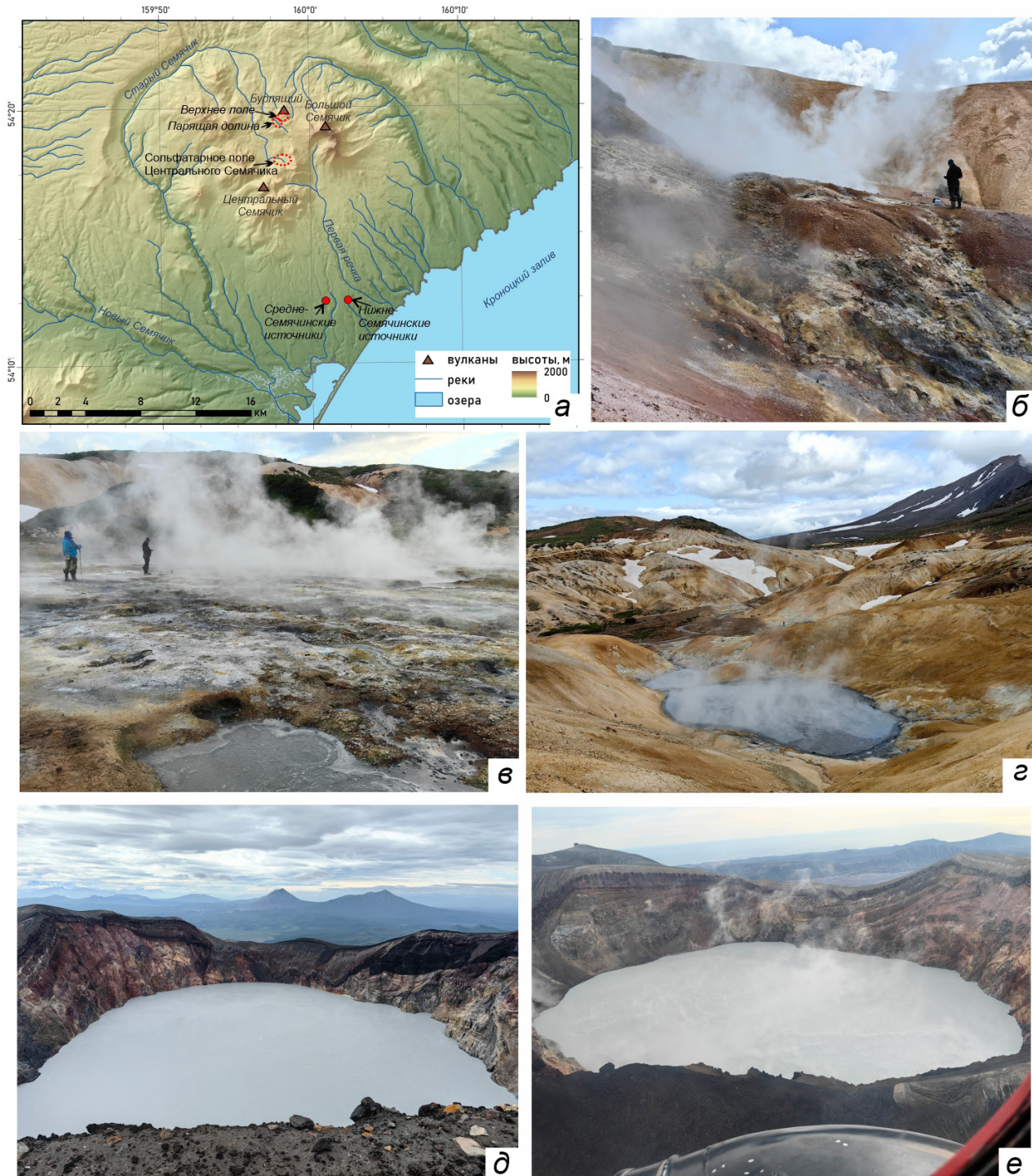
**Рис. 3.** Расположение термальных полей на западном склоне вулканического массива Кихпинич (а); источники на западном склоне вулкана Старый Кихпинич (б, в); источники у подножия сопки Желтая (г–е).

**Fig. 3.** Location of thermal fields on the western slope of the Kikhpinych volcanic massif (а); springs on the western slope of the Stary Kikhpinych volcano (б, в); springs at the foot of the Yellow Sopka (г–е).

струй превышает 100 °С, Среднее значение рН в водных котлах 2.5, минерализация обычно меньше 1 г/л. Парящая долина — второе термальное поле вулкана Бурлящий (рис. 4а, 4в). Долина обводнена, поэтому большая ее часть представляет собой «кашу» из превра-

щенной в глину породы и многочисленных кипящих/газирующих котлов.

Главной особенностью сольфатарного поля вулкана Центральный Семячик (рис. 4а) является оз. Черное (рис. 4з). Средняя температура воды на поверхности, измеренная при помощи



**Рис. 4.** Вулканический массив Большой Семячик (а). Термальные поля вулкана Бурлящий: Верхнее поле (б); Парящая долина (в); термальное поле вулкана Центральный Семячик (з); вулкан Малый Семячик: кратерное озеро по состоянию на 17.08.2023 г. (д), парение над озером (дата съемки 27.09.2023 г.) (е).

**Fig. 4.** Bolshoy Semyachik volcanic massif (a). Thermal fields of the Burlyashchy volcano: Upper field (b); Paryashaya Dolina (v); Thermal field of the Central Semyachik volcano (z); Maly Semyachik volcano: crater lake as of 17.08.2023 (d), steaming above the lake (photo date 27.09.2023) (e).

инфракрасной камеры,  $\sim 60^\circ\text{C}$ . Черный цвет воде придают взвешенные частицы тонкодисперсного пирита и других сульфидов. Пиритовая пленка вблизи берега в солнечную погоду блестит золотым блеском.

Как и в районе массива Кихпинич, на термальных полях массива Большой Семячик была сделана гидрогеохимическая съемка с отбором проб воды, газа, осадка и солей, проступающих на поверхности земли в местах рассредоточенного парения. Впервые на всех участках была сделана газовая съемка, включающая измерение диффузионного потока углекислого газа и определение загазованности приземного слоя. Выполнены аэрофотографическая и инфракрасная съемки.

Помимо работы на термальных полях, были выполнены маршруты на Средне- и Нижне-Семячинские термальные источники (рис. 4а) с попутным опробованием рек и ручьев, стекающих с внешнего восточного склона массива, а также проведены гидрологические работы на всех ручьях, сливающихся в единый поток, дающий начало р. Старый Семячик.

**Малый Семячик.** Режимные наблюдения за ультракислым ( $\text{pH} < 1$ ) минерализованным кратерным озером вулкана Малый Семячик (рис. 1, рис. 4д) мы ведем несколько лет. Как и в прошлые годы, забор пробы из центральной части озера проводился с помощью квадрокоптера DJI PHANTOM 4 PRO, к которому на тонком шнуре был прикреплен пробоотборник объемом 150 мл. Подробно процесс подобного опробования описан на примере оз. Горячее вулкана Эбеко (о. Парамушир) в работе (Калачева, 2021). Также с помощью данного квадрокоптера была проведена плановая фотосъемка поверхности озера для составления ортофотоплана и определения геометрических параметров водоема. Впервые за все время нашего наблюдения температура воды поднялась до  $26^\circ\text{C}$ , однако минерализация (19.3 г/л) и pH (0.88) практически не изменились. Парение с поверхности озера стало наиболее заметно в осенний период (рис. 4е).

**Кальдера Узон** находится западнее вулканического массива Кихпинич (рис. 1). Она образовалась около 40 тыс. лет назад в результате обрушения центральной части вулканической постройки после извержения большого объема пемзы и игнимбитов (Леонов и др., 1991). В посткальдерный этап здесь выжимались экстремально кислого состава и интенсивно накапливались туфогенные и озерно-болотные образования. В настоящее время кальдера представляет собой плоскую котловину, в значительной мере заболоченную, с многочисленными озерцами, озерами и ручьями (рис. 5а). Единственным дренирующим гидро-

сеть кальдеры водотоком является р. Шумная (рис. 5б). В северной части кальдеры, в достаточно узкой полосе  $\sim 350$  м, вдоль глубинного разлома субширотного простирания, сосредоточены современные гидротермальные проявления: водные/водно-грязевые котлы, грязевые вулканчики, пропаренные площадки, парогазовые струи, термальные озера и источники (рис. 5а, 5в, 5г).

В ходе полевых работ были сделаны уже традиционные для данного полевого сезона виды работ. На всех термальных озерах выполнено гидрохимическое опробование, на дренирующих площадки ручьях, и на главном водотоке — р. Шумная, проведены гидрологические работы. На наиболее крупных полях выполнено измерение диффузионного потока  $\text{CO}_2$ , проведен отбор проб газа, свободно выделяющегося сквозь водную толщу (в ручьях, котлах, озерах) (рис. 5д–ж). Сделаны кратковременные режимные (фото- и видео съемки, опробование воды и газа) исследования гейзера Шаман, единственного источника гейзерного типа в кальдере Узон (Леонов, 2017). Выполнена аэрофотографическая и инфракрасная съемки всей кальдеры.

**Долина р. Камчатка.** Река Камчатка — главная водная артерия Камчатского п-ва (рис. 1). Почти на всем своем протяжении река протекает по Центральной Камчатской депрессии, которая с левого борта ограничена Срединным, а с правого Восточным вулканическими хребтами. В среднем течении р. Камчатка огибает Ключевскую группу вулканов и затем впадает в Камчатский залив Тихого океана в 2 км ниже пгт. Усть-Камчатск. Она имеет большое количество притоков, основными (протяженность более 80 км) являются реки Кавыча, Андриановка, Кирганик, Большая Кимитина, Шапина, Толбачик, Козыревка, Еловка, Большая Хапица. Каждый из притоков имеет свою разветвленную гидрографическую сеть.

Во время экспедиционных работ было проведено гидрохимическое опробование р. Камчатка в нескольких ключевых участках от истоков до устья (рис. 6а–г), а также большинства ее главных притоков. Параллельно с гидрохимическим опробованием выполнялись гидрологические работы: определение расхода водного потока, изучение морфологических характеристик русла, аэрофотографическая съемка. Также был изучен сток, осуществляемый «сухими» реками, зарождающимися на склонах Северной группы вулканов. Помимо водных проб, отобраны образцы пепла, сделана аэрофото-съемка территорий юго-западного и южного подножия вулкана, где по долинам сухих рек сошли селевые потоки (рис. 6д, 6е).

**Долина р. Белая (п-ов Камчатский Мыс).** Река Белая берет начало на склонах гипербазитового массива г. Солдатская и впадает в оз. Нерпичье в 10 км на северо-восток от с. Крутоберегово (рис. 1). Объектом наших работ стала линейная разгрузка щелочных холодных подземных вод (источники «Солдатские» по (Таран и др., 2023)) (рис. 7). Характерной особенностью этих источников является нетипичный для камчатских вод высокий

pH (11–12.5) и формирующиеся на выходе источников протяженные травертины (рис. 7г, 7д). В ходе выполнения рекогносцировочного маршрута по долине безымянного притока р. Белая, названного нами руч. Щелочной, где осуществляется разгрузка, нами была обнаружена еще одна группа источников (назовем ее Верхняя группа) (рис. 7а). Основная часть выходов находится на абсолютных отметках 700–730 м, на высоте от 2 до 10 м от русла ручья.



**Рис. 5.** Кальдера Узон. Северная часть кальдеры с термальными площадками и озерами (а); исток р. Шумная (б); Вид со смотровой площадки на термальную площадку (в); оз. Хлоридное (г); измерение диффузионного потока  $\text{CO}_2$  (д); отбор водной пробы со скважины (е); отбор свободного газа из водной воронки (ж).

**Fig. 5.** Uzon Caldera. Northern part of the caldera with thermal areas and lakes (a); Shumnaya River source (b); View from the observation deck to the thermal field (v); the Chloridnoe Lake (g);  $\text{CO}_2$  diffusion flux measurement (d); water sampling from the well (e); free gas extraction from the spring (z).



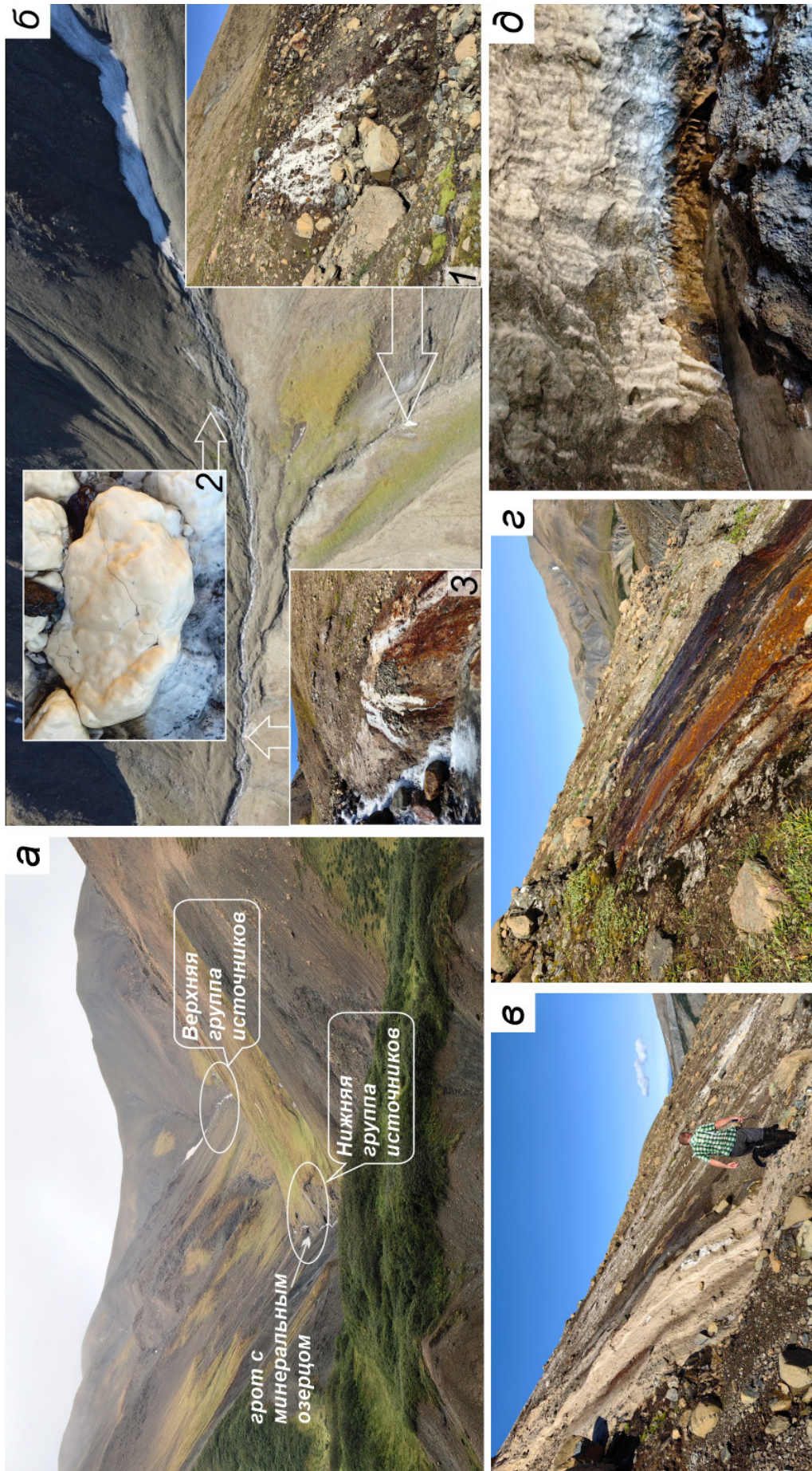
Вдоль сформированных источниками водотоков происходит осаждение плотного карбонатного осадка, покрывающим осыпные отложения, по которым течет вода (рис. 7б, врезка 1-2). Другая часть источников представляет собой линейную разгрузку (абсолютные отметки 650 м), осуществляющуюся в борту руч. Щелоч-

ной на высоте 1.5–2 м от его русла по трещинам в многослойном травертине (рис. 7б, врезка 3). Температура воды во всех выходах составляет 3–6 °С, рН=11.58–12.49, минерализация крайне низкая, не превышает 100 мг/л. Нижняя группа источников описана в работе (Таран и др., 2023), их характерной особенностью являются



**Рис. 6.** Долина р. Камчатка. Верховье реки — р. Озерная Камчатка (а); среднее течение реки рядом с переправой в пос. Таежный (б) (фото Л.А. Пташинского); у переправы на с. Лазо (в); нижнее течение реки — мост у пос. Ключи (г). Безымянные сухие реки вулкана Шивелуч: с юго-западного склона (д), с южного склона (е).

**Fig. 6.** Kamchatka River valley. Upper river: Ozernaya Kamchatka r. (a); Middle course of the river near the crossing in Taezhny settlement (b) (photo by L.A. Ptashinsky); at the crossing on the village Lazo (c); lower course of the river — bridge near Klyuchi settlement (d). Unnamed dry rivers of Shiveluch volcano: from the southwestern slope (d), from the southern slope (e).



**Рис. 7.** Солдатские холодные источники в долине р. Белая. Долина руч. Щелочной (а); расположение источников Верхней группы (б), на врезках 1 и 3 показаны отдельные источники, на врезке 2 — карбонатная корка на камнях по стоку источника; травертины Нижней группы источников (е, з); Грот со сталактитами и минеральным озером (д).

**Fig. 7.** Soldatskie cold springs in the Belaya River valley. Schelochnoi stream valley (a); location of the sources of the Upper group (б), insets 1 and 3 show individual springs, inset 2 shows carbonate crust on stones along the spring outlet; travertines of the Lower Group of springs (е, з); Grotto with stalactites and mineral lake (д).

протяженные карбонатные плащи (рис. 7*в–г*). Нами детально было обследовано только озерцо с минерализацией 1 г/л и рН=12.4, сформированного в небольшом гроте рядом с руслом ручья (рис. 7*а*). За счет медленного просачивания минерализованных подземных вод потолок грота покрыт спелиоматами (сталактиты и драпировки) (рис. 7*д*). Впервые это камчатский феномен описан в работе (Савельев и др., 2014). Гидрохимическое опробование было проведено на всех группах источников, как ранее изученных, так и впервые обнаруженных.

**Долина р. Кашкан.** Пушинские термальные источники, поверхностные проявления одноименной гидротермальной системы, расположены в узкой каньонообразной долине р. Правый Кашкан, одного из истоков основного водотока района — р. Кашкан (рис. 1). Разгрузка термальных вод сосредоточена в пределах полуторакилометровой зоны и осуществляется двумя основными группами, разделенными разрывным нарушением северо-западного простирания.

Выходы термальных вод прослеживаются по обоим бортам узкой долины у подножия коренных склонов левого берега, образующих практически вертикальную стенку и на правобережной заболоченной двухуровневой пойме (рис. 8). Разгрузка сопровождается осаждением карбонатных минералов (кальцит, арагонит), формирующих мощные травертины (рис. 8*г*, 8*д*). Максимальная измеренная температура источников составила 34 °С. Дебит отдельных источников не превышает 0.1 л/с, на стоке. Весь сток термальных вод, смешанный с поверхностными водами, поступает в р. Правый Кашкан.

В районе источников пробурено несколько скважин, одна из которых функционирует в настоящее время. Слив со скважины по трубе осуществляется в бассейн, предназначенный для купания, затем сбрасывается на рельеф с образованием травертина (рис. 8*е*). Суммарный дебит видимой разгрузки Пушинских источников по нашим оценкам 25 л/с. В источниках, помимо проб воды, был выполнен забор свободных газов, в р. Правый Кашкан оценен расход выше и ниже термальной разгрузки.

#### КРАТКОЕ ОБОБЩЕНИЕ ВЫПОЛНЕННЫХ РАБОТ

Впервые, используя современное экспедиционное оборудование, на термальных полях крупных массивов Восточного вулканического пояса Камчатки Кихпинич и Большой Семячик, в кальдере Узон выполнены комплексные исследования:

– детальная гидрогеохимическая съемка с опробованием всех форм термопроявлений (водные/водно-грязевые котлы, источники, парогазовые струи), осадков и минеральных солей;

– измерение диффузионного потока CO<sub>2</sub>, используя портативную систему для анализа почвенного газообмена с параллельным определением температуры и влажности почвы, а также с замерами загазованности приземного слоя воздуха;

– аэрофотографическая и инфракрасная съемки термальных полей и прилегающих территорий.

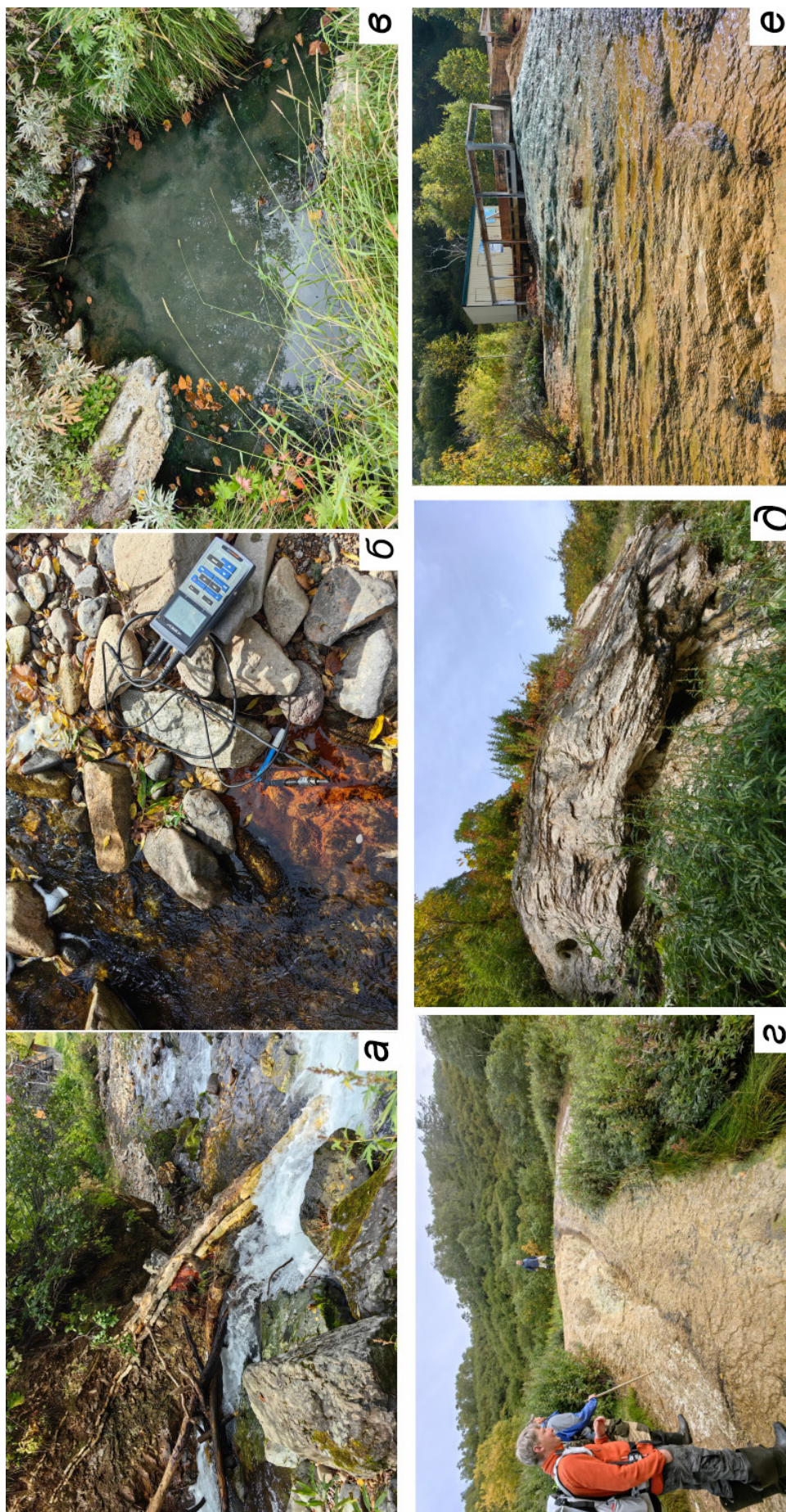
С помощью беспилотной техники было проведено опробование оз. Зеленое, занимающего кратер активного вулкана Малый Семячик, выполнена аэрофотографическая и инфракрасная съемки привершинной части вулкана.

Выполнены гидрохимические и гидрологические исследования щелочных холодных источников, разгружающихся в долине р. Белая на п-ве Камчатский Мыс, а также Пушинских термальных источников, расположенных в долине р. Кашкан.

В ходе экспедиционных работ отобрано большое число водных и газовых проб, пополнена коллекция осадков. Получено значительное количество фото- и видеоматериалов, которые помогут выявить наиболее прогретые участки, отследить динамику изменений, происходящих на активных термальных полях и в речных долинах Камчатки.

Выражаю благодарность всем моим коллегам, участвовавшим в полевых работах 2023 г. Особую признательность адресую Е.В. Волошиной, Д.В. Мельникову, Д.Ю. Кузьмину и Л.А. Пташинскому за постоянную поддержку и желание продолжать работу, невзирая на все возникавшие сложности, как природного, так и бытового характера; нашему водителю И.А. Утешеву за высокий профессионализм в своем деле и всестороннюю помощь во время проведения полевых работ.

Экспедиционные исследования выполнены в рамках государственного задания по темам НИР ИВиС ДВО РАН. Наиболее затратная часть полевых работ, включая аренду вертолета, приобретение расходных материалов и частично полевое довольствие осуществлена за счет средств, выделенных на реализацию межведомственной программы «Экологическая безопасность Камчатки: изучение и мониторинг опасных природных явлений и антропогенных воздействий» по теме «Вклад термальных вод Камчатки в формирование химического состава рек бассейна Тихого океана (Камчатский и Кроноцкий заливы) (FWME-2023-0001)».



**Рис. 8.** Пушчинские термальные источники (а–б) и их травертины (г–е).  
**Fig. 8.** Pushchino thermal springs (a–b) and their travertines (г–e).

## Список литературы [References]

- Брайцева О.А., Флоренский И.В., Волынец О.Н.* Вулкан Кихпинич. Действующие вулканы Камчатки: в 2-х томах. Т. 2. М: Наука, 1991. С. 74–91 [*Braitseva O.A., Florensky I.V., Volynets O.N.* Kikhpinyuch Volcano. Active Volcanoes of Kamchatka: in 2 vol. V. 2. Moscow: Nauka, 1991. P. 74–91 (in Russian)].
- Леонов В.Л.* Как была «открыта» Долина смерти на Камчатке // Труды Кроноцкого государственного природного биосферного заповедника. Вып. 4. Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс, 2015. С. 7–15 [*Leonov V.L.* How the Death Valley in Kamchatka was «discovered» // Proceedings of the Kronotsky State Natural Biosphere Reserve. Iss. 4. Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatpress, 2015. P. 7–15 (in Russian)].
- Леонов В.Л., Гриб Е.Н., Карпов Г.А. и др.* Кальдера Узон и Долина Гейзеров. Действующие вулканы Камчатки: в 2-х томах. Т. 2. М: Наука, 1991. С. 94–141 [*Leonov V.L., Grib E., Karpov G.A. et al.* Uzon Caldera and Valley of Geysers. Active Volcanoes of Kamchatka: in 2 vol. V. 2. Moscow: Nauka, 1991. P. 94–141 (in Russian)].
- Калачева Е.Г.* Экспедиционные исследования Курильских островов в 2021 г. // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2021. № 3. Вып. 51. С. 101–109 <https://doi.org/10.31431/1816-5524-2022-3-51-101-110> [*Kalacheva E.G.* Expeditional exploration of the Kuril Islands in 2021 // Vestnik KRAUNTs. Nauki o Zemle. 2021. № 3(51). P. 101–109 (in Russian)].
- Леонов А.В.* Каталог гейзеров Кроноцкого заповедника. Долина гейзеров и кальдера вулкана Узон: история и современность. М: Издательство ООО «Реарт», 2017. 384 с. [*Leonov A.V.* Catalog of geysers of the Kronotsky Nature Reserve. Valley of Geysers and Caldera of Uzon Volcano: History and Modernity. Moscow: Publishing house «Reart» LLC, 2017. 384 p. (in Russian)].
- Савельев Д.П., Новаков Р.М., Черкашин Р.И.* Травертины и спелиоматы п-ва Камчатский мыс (Камчатка) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле, 2014. № 2. Выпуск № 24. С. 7–11 [*Savelyev D.P., Novakov R.M., Cherkashin R.I.* Travertines and speliomats of the Kamchatka Cape Peninsula (Kamchatka) // Vestnik KRAUNTs. Nauki o Zemle. 2014. № 2(24). P. 7–11 (in Russian)].
- Таран Ю.А., Савельев Д.П., Пальянова Г.А., Покровский Б.Г.* Щелочные воды ультраосновного массива г. Солдатской (Камчатка): химический и изотопный состав, минералогия и 14C-возраст травертинов // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле, 2023. Т. 510. № 1. С. 30–37. <https://doi.org/10.31857/S2686739722602897> [*Taran Yu.A., Savelyev D.P., Palyanova G.A., Pokrovskii B.G.* Alkali Waters of the Ultrabasic Massif of Mount Soldatskaya, Kamchatka: Chemical and Isotopic Compositions, Mineralogy, and 14C Age of Travertines // Doklady Earth Sciences, 2023. V. 510. № 1. P. 262–268. <https://doi.org/10.1134/S1028334X23600093>].

**EXPEDITION WORK IN THE CENTRAL PART  
OF THE KAMCHATKA EAST VOLCANIC BELT  
AND IN THE KAMCHATKA RIVER VALLEY IN 2023**

**E.G. Kalacheva**

*Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS,  
Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia, 683006*

Received October 18, 2023; revised January 19, 2024; accepted March 25, 2024

This article provides a brief description of the expedition work conducted by the staff of the Institute of Volcanology and Seismology, FEBRAS, in the central part of the Eastern Volcanic belt of Kamchatka, and in the Kamchatka River valley in the Summer-Autumn of 2023. In order to study the conditions for the formation and discharge of thermal waters of large volcanic centers, to estimate the hydrothermal discharge of magmatic volatiles (primarily CO<sub>2</sub>), hydrochemical and gas testing was carried out on the thermal fields of the Kikhpinyuch and Bolshoi Semyachik volcanic massifs, and in the Uzon caldera. In parallel with geochemical sampling, aerial and infrared photography of thermal sites was carried out. To determine the degree of influence of volcanic and hydrothermal activity on the ion runoff into the Pacific Ocean, hydrochemical and hydrological works were carried out in the Kamchatka River valley. A comprehensive study of unique alkaline cold springs was carried out in the Belaya River valley (Kamchatsky Peninsula). A large number of water and gas samples, sediments and mineral salts were collected for further analytical studies during the expedition works.

*Keywords:* Kamchatka, volcano, thermal waters, CO<sub>2</sub> emissions.