

УДК 551.21

ЯДЕРНО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ПРИРОДНОМ ПАРКЕ «НАЛЫЧЕВО» (КАМЧАТКА)

П.П. Фирстов¹, В.А. Рашидов², А.В. Мельникова³, В.И. Андреев², В.Н. Шульженкова³

¹Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г. Петропавловск-Камчатский, 683006;
e-mail: firstov@kscnet.ru

²Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский, 683006

³Камчатский Государственный университет им. Витуса Беринга, 683032

В 2009-2010 гг. в центральной части Природного парка «Налычево» были выполнены ядерно-геофизические исследования. В пределах термальной площадки «Котел» выявлены локальные аномалии γ -излучения со значением $I \geq 20-30$ мкР/ч, вызванные повышенным содержанием радия, который откладывался в травертиновом покрове в зонах разгрузки термальных вод. Здесь зарегистрированы высокие значения объемной активности радона в почвенном воздухе, обусловленные, с одной стороны, наличием эманулирующих коллекторов с повышенным содержанием радия в травертинах в местах бывших выходов термальных вод, и, с другой стороны, в зонах дизъюнктивных нарушений, которые, как правило, трассируются отрицательными формами рельефа. На техногенной термальной площадке «Грифон Иванова» формирование травертинового покрова сопровождается отложением радийсодержащих минералов на расстоянии до первых сотен метров от источника, где фиксируются значения $I \geq 8$ мкР/ч вдоль дренажной траншеи.

Ключевые слова: ядерно-геофизические, γ -съемка, радон, термальная площадка, травертин, Налычево.

ВВЕДЕНИЕ

В рамках программ молодежных научно-исследовательских лагерей Камчатского ГУ им. Витуса Беринга: «ЭкобиоСфера» в 2009 г. и «Геофизик-10» в 2010 г. по теме: «Организация подготовки кадров по специальности «геофизика» и проведение научных исследований в Природном парке «Налычево» (ППН)» сотрудниками Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Камчатского филиала (КФ) Геофизической службы (ГС) РАН и студентами были выполнены ядерно-геофизические и геомагнитные исследования в центральной части парка. Ядерно-геофизические исследования включали измерения объемной активности радона ($OA Rn$) в почвенном воздухе и γ -съемку, а геомагнитные исследования — измерение абсолютного значения полного вектора магнитной индукции и капаметрию (Рашидов, Мельникова, 2010; Фирстов и др., 2011).

Регистрация $OA Rn$ проводилась в стволе пробуренной на территории ППН скважины

№ 3 и на профиле, пересекающем центральную часть ППН в направлении СЗ-ЮВ. Площадная γ -съемка была выполнена на двух травертиновых термальных площадках: молодой — «Котел» и современной — «Грифон Иванова». Исследованные травертиновые площадки представляют собой легкодоступные идеальные природные лаборатории для проведения 4D съемок различными методами, которые интенсивно применяются в настоящее время в гидротермальных районах (Glyn et al., 2008; Sugihara, Ishido, 2008).

Известно, что в травертинах, образующихся при охлаждении и дегазации разгружающихся на поверхности карбонатных и сульфатных термальных растворов, происходит выпадение радийсодержащих минералов (Пузанков, 1975; Пузанков и др., 1977; Чердынцев, 1973; Onishchenko et al., 2010; Soligo, Tuccimei, 2008; Zunic et al., 2007). Действительно, в травертиновом чехле термальной площадки «Котел» при проведении в 1964 г. радиометрической съемки были обнаружены участки с повышенными значениями γ -излучения, что объяснялось выщелачиванием Ra термальными

водами Налычевской гидротермальной системы и его выносом в виде различных соединений на дневную поверхность (Пузанков и др., 1977). При проведении П.П. Фирстовым рекогносцировочных работ в 1999 г. по поиску тензочувствительных пунктов для организации мониторинга с целью прогноза сильных землетрясений были зарегистрированы высокие значения $OA Rn$ в почвенном воздухе. Выявленные особенности дали основание для проведения комплексных ядерно-геофизических исследований в пределах центральной части ППН, результатам которых посвящена настоящая работа.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О РАЙОНЕ РАБОТ

Природный парк «Налычево» территориально располагается в долине одноименной реки и занимает площадь 2871 км² (рис. 1а). Термальные площадки «Котел» и «Грифон Иванова» находятся в пределах центральной части ППН в долине р. Горячей на расстоянии первых сотен метров от ее русла и являются частью Налычевской гидротермальной системы (рис. 1б).

Воды Налычевской гидротермальной системы относятся к углекислым хлоридно-натриевым с повышенным содержанием мышьяка и бора, которые при излиянии образуют травертины из кальцита и арагонита с окислами железа и мышьяковистыми минералами (Масуренков, Комкова, 1978; Набоко, 1963; Пийп, 1937). Процесс образования травертинов в зоне разгрузки Налычевских термальных вод продолжается 15-20 тыс. лет и рассматривался в ряде работ (Ковалев и др., 1969; Комкова, 1969; Комкова и др., 1971; Масуренков, Комкова, 1978).

Термальная площадка «Котел» получила название по травертиновому куполу с чашей на вершине (рис. 1в), которая была до середины XX в. источником термальной воды. Термальная площадка «Грифон Иванова» получила название по одноименному грифону (рис. 1г). Первые упоминания о термальной площадке «Котел» приведены в работе П.Г. Новограбленова (1929). Им было выделено 23 группы термальных выходов, включающих более 50-ти грифонов с температурой 30-75°C.

Позднее Б.И. Пийпом (1937, 1941) в 1931-1933 гг. в пределах термальной площадки были выделены 23 грифона с температурой воды от 28 до 75°C с суммарным суточным дебитом наиболее крупных грифонов в 800 тыс. л и отмечено высокое содержание мышьяка, брома, сурьмы в водах и осадках.

В 1951 г. Налычевские источники исследовались экспедицией Центрального института курортологии под руководством известного гидрогеолога В.В. Иванова, который классифи-

цировал эти термальные воды как воды углекислого типа (Иванов, 1958). Позднее В.В. Аверьев уточнил тип этих вод, отнеся их к углекислым мышьяковистым водам (Аверьев, 1960).

В 1959-1960 гг. Камчатское геологическое управление с целью разведки бороносных вод выполнило детальные геологоразведочные работы в районе Налычевской гидротермальной системы, сопровождавшиеся проходкой четырех скважин (рис. 1б) по створу от термальной площадки «Котел» на северо-западе до р. Горячей. Две из них находились в непосредственной близости от термальной площадки «Котел». В результате бурения режим термальных источников нарушился, и из скважин начался самоизлив. Попытки его прекратить не принесли результатов, так как не были установлены запорные задвижки. Дебит источников на термальной площадке «Котел» стал резко сокращаться и вскоре они исчезли (Масуренков, Комкова, 1978; Набоко, 1963). Обе скважины работали в режиме фонтанирования. Первая проработала в течение нескольких лет, а затем излив воды прекратился. На месте самой глубокой скважины № 2 (глубина 217 м), вскрывшей водоприток на глубине 40-160 м, образовался грифон с диаметром зеркала ~ 5 м, который был назван в честь известного гидрогеолога В.В. Иванова (Семенов, 1983).

Скважина № 3 на глубине первых метров вскрыла грунтовый поток от купола с температурой 40°C, а на глубине 134 м – безнапорные воды с температурой 58°C. В настоящее время ствол скважины до глубины 6 м засыпан травертином.

Совместные российско-японские работы, направленные на изучение химического состава современных осадков и отложений «Грифона Иванова», проводились в начале XXI в. (Шишканова, 2006; Nishikawa et al., 2006; Saji et al., 2004).

АППАРАТУРА, МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

Мониторинг $OA Rn$ проводился в стволе скважины № 3 в 2009-2010 гг. радиометром «РЕВАР», в котором в качестве датчиков использовались газоразрядные счетчики СБМ19, позволяющие регистрировать β -излучение продуктов распада радона (Фирстов, 1999; Фирстов, Рудаков, 2003). Кроме того, осуществлялась регистрации $OA Rn$ с использованием радиометра РГА-04, позволяющего измерять $OA Rn$ в диапазоне от 0.002 до 65 кБк/м³. При наличии погодных условий в 2009 г. проводились визуальные наблюдения за активностью вулкана Корякского, расположенного в 21 км от центральной части ППН, который находился в это время в стадии извержения.

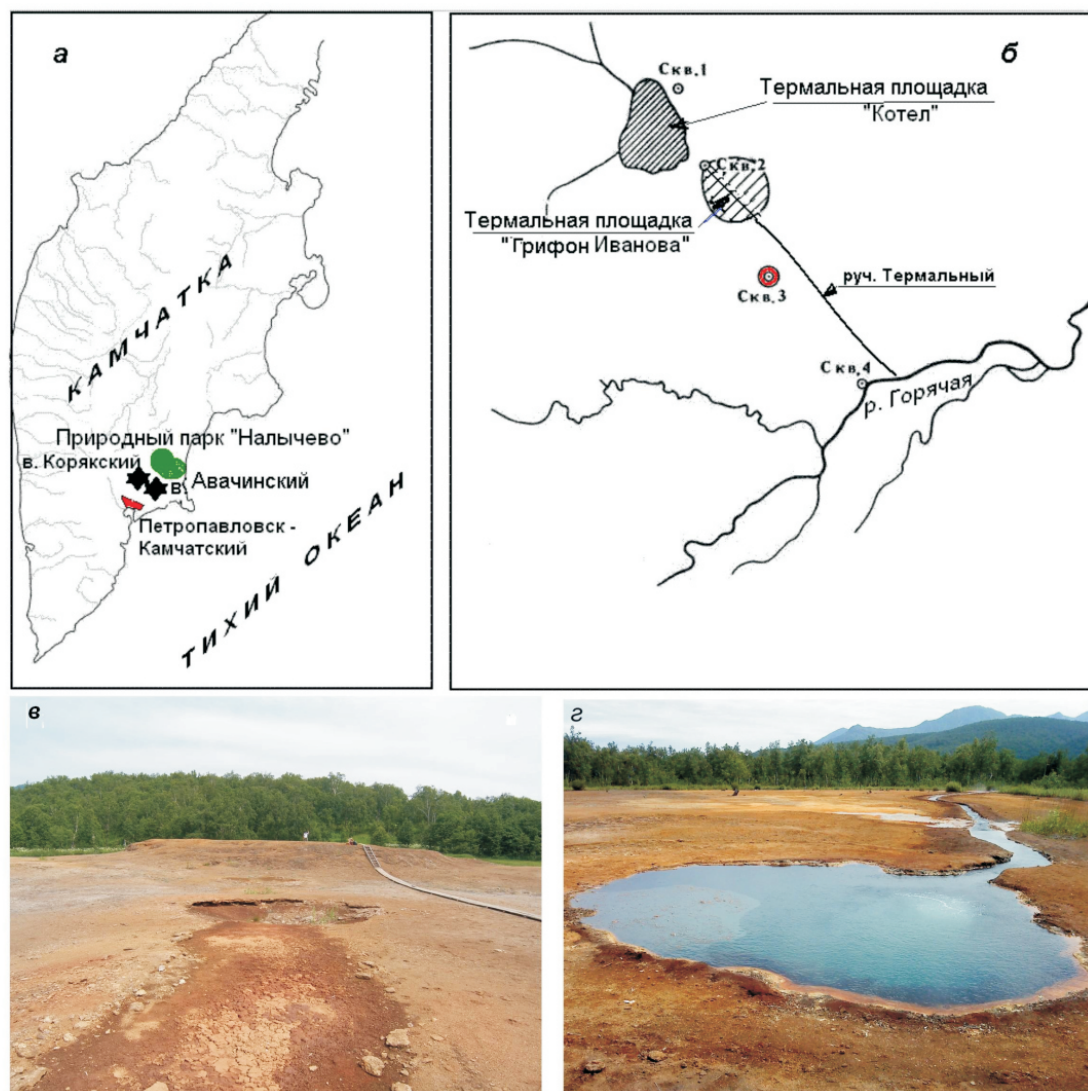


Рис. 1. Местоположение Природного парка Налычево (а); схема исследованных термальных площадок (б), построенная с использованием материалов работы (Масуренков, Комкова, 1978); общий вид термальной площадки «Котел» (в); общий вид термальной площадки «Грифон Иванова» (г).

Для эманационной съемки ОА Rn применялся радиометр α -активных газов РГА-01, позволяющий регистрировать ОА Rn в первую минуту после закачивания подпочвенного воздуха в сцинтилляционную камеру объемом 500 см³, покрытую сцинтиллятором ZnS. Диапазон измерения прибора составляет $(0.315-6.3) \times 10^5$ кБк/м³. Измерялась ОА Rn почвенного воздуха, который отбирался из шпуров на глубине 0.4-0.5 м.

Эманационная съемка в 2010 г. была выполнена в шпурах в 73 точках (рис. 2, врезка). Перед выходом на съемку проводились контрольные измерения в опорной точке, значения которых за период наблюдений дали разброс от 2.9 до 4 кБк/м³ в зависимости от атмосферного давления, что дало возможность в значения измерений ОА Rn ввести барокомпенсацию и привести все измерения к давлению 760 мм рт. ст.

Значения γ -поля измерялись сцинтил-

ляционным геологоразведочным прибором СРП-68-01, предназначенным для радиометрической съемки. Прибор СРП-68-01 позволяет измерять экспозиционную дозу γ -излучения в диапазоне 0-3000 мкР/ч (Новиков, 1989). Фоновые значения γ -поля, измеренные на дневной поверхности, зависят от содержания радионуклидов в горных породах, что позволяет оценивать площадную неоднородность распространения радионуклидов в поверхностном слое мощностью в несколько метров.

В июле 2010 г. на термальной площадке «Котел» γ -съемка проводилась в узлах предварительно разбитой регулярной сети 20 × 10 м. Было выполнено 320 измерений (рис. 2). Среднеквадратическая ошибка измерений составила здесь 2.95 мкР/ч.

На термальной площадке «Грифон Иванова» значения γ -поля были измерены в 181 пикете

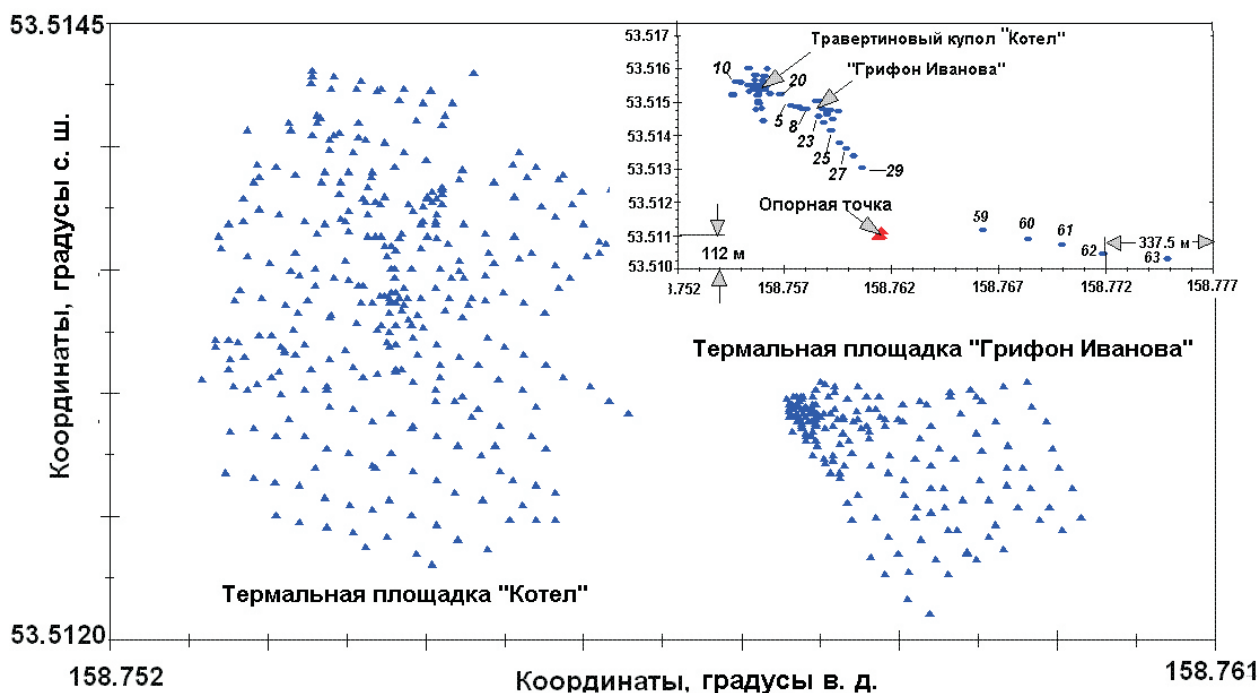


Рис. 2. Расположение точек γ -съемки на термальных площадках «Котел» и «Грифон Иванова». На врезке показано расположение пикетов эманационной съемки центральной части Природного парка Нальчево в 2010 г.

(рис. 2). Съемка производилась без предварительной разбивки точек наблюдения, но с непосредственной их привязкой в момент измерения. Среднеквадратическая ошибка измерений составила здесь 0.87 мкР/ч.

Определение координат и высот пикетов производилось с помощью портативной навигационной системы Garmin GPSmap 60С.

МОРФОЛОГИЯ ТЕРМАЛЬНЫХ ПЛОЩАДОК

Термальная площадка «Котел» имеет овальную форму и размер $\sim 180 \times 200$ м. Она сложена травертиновыми отложениями с прослоями вулканического пепла, мощность которых достигает 0.4 м. Вокруг купола «Котел» наблюдается определенная концентрическая зональность осадков различного типа. По периферии площадка частично засыпана серым вулканическим песком и перекрыта почвенным слоем мощностью не менее метра. В центральной части термальной площадки распространены бурые травертины, по периферии – карбонатно-кальциевые белые осадки.

Термальную площадку венчает травертиновый купол «Котел», возвышающийся над поверхностью на 5-7 м (рис. 1а). Размеры купола в поперечнике составляют 18×15 м. На вершине его расположена безводная чаша диаметром ~ 5 м и глубиной 1.5 м.

В 1931 г. чаша до краев была заполнена бурлящей водой с температурой 72°C (Пийп, 1937, 1941). Уровень воды к 1951 г. понизился на 0.8 м,

а к 1961 г. – на 2.5 м, температура при этом понизилась до 64°C (Комкова, 1969; Масуренков, 1963; Масуренков, Комкова, 1978). К 1985 г. термальная площадка «Котел» практически полностью пересохла из-за нарушения гидрологического режима пробуренными скважинами. В настоящее время на термальной площадке наблюдаются слабо парящие воронки диаметром 0.5-1.5 м. Подавляющее большинство грифонов является бессточными.

По морфологической типизации травертиновых залежей купол «Котел» относится к типу насыпных конусов (Chafentz, Folk, 1984; Pentecost, 1995).

Абсолютная высота рельефа в пределах термальной площадки «Котел» изменяется от 413 до 420 м (рис. 3а). Характерными формами рельефа являются «чаши» (бессточные грифоны) и небольшие купола. При проведении исследований нами были выделены 56 «чаш» с поперечными размерами от 0.6×0.6 до 15×5 м и глубиной до 0.5 м, а также 11 куполов размером от 2×3 до 11×14 м и высотой до 0.5 м.

Термальная площадка «Грифон Иванова» имеет плоскую поверхность, размером $\sim 90 \times 100$ м и перепадом высот от 409 до 414 м (рис. 3б). Отмечено несколько чаш размером 0.8×0.8 м и глубиной до 0.5 м. Сам грифон имеет зеркало воды округлой формы диаметром ~ 5 м. Его глубина в центральной части превышает 8 м. Температура воды 75.6°C , дебит ~ 18 л/с. Вытекающая из грифона термальная вода отводится по дренажной траншее (ручей Термальный) к реке Горячей

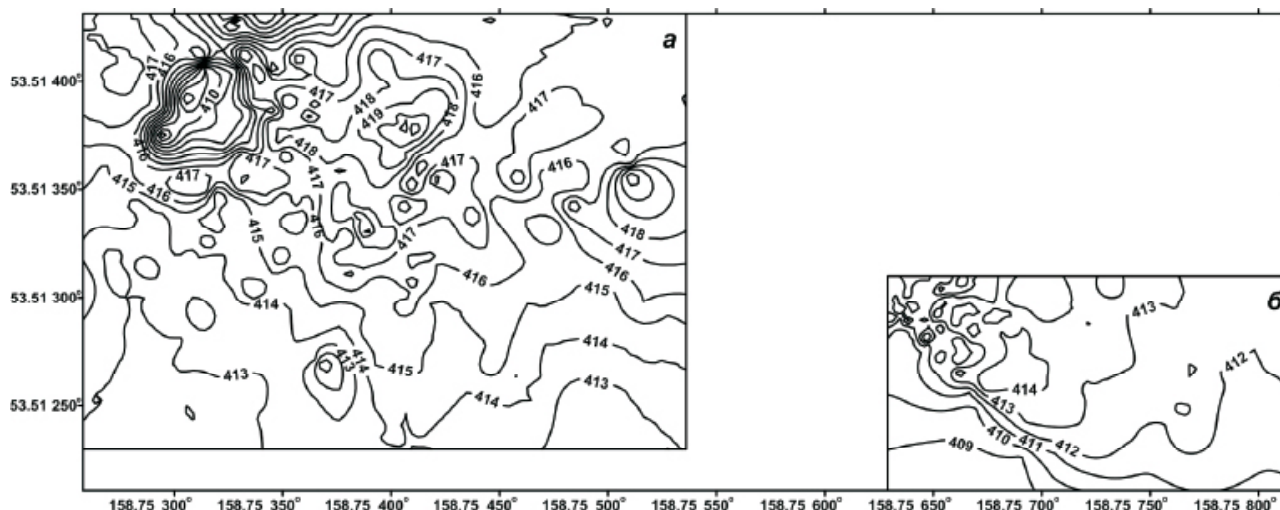


Рис. 3. Рельеф термальных площадок «Котел» (а) и «Грифон Иванова» (б), м.

(рис. 1б), в которую также разгружается группа естественных выходов термальных вод, располагающихся по ее берегам. В настоящее время именно в районе термальной площадки «Грифон Иванова» происходит современное осадкообразование.

МОНИТОРИНГ ОА Rn В СТВОЛЕ СКВАЖИНЫ № 3

С 1997 г. с целью поиска предвестников сильных землетрясений в районе Петропавловск-Камчатского геодинамического полигона начала функционировать сеть пунктов мониторинга ОА Rn в почвенном газе (Фирстов, 1999; Фирстов, Рудаков, 2003). Высокие значения ОА Rn в районе центральной части ППН и его геолого-тектоническое положение позволяли надеяться на повышенную тензочувствительность этого пункта, названного ППН, к изменениям напряженно-деформированного состояния геосреды района Южной Камчатки. Активизация вулкана Корякский (Селиверстов, 2009) стимулировала организацию непрерывных наблюдений ОА Rn в стволе скважины № 3 в августе 2009 г. года.

С марта 2008 г. в районе вулкана Корякский на глубинах 0-5 км начали регулярно регистрироваться слабые землетрясения с энергетическим классом ($K = \lg E$, где E – энергия в очаге землетрясения в Дж) не более 8.3 и глубиной очагов 5-10 км. Эпицентральная область этих землетрясений на первом этапе хорошо совпадала с региональным разломом субмеридианального направления, который пересекает центральную часть ППН (Сенюков, Нуждина, 2010).

В декабре 2008 г. началась активизация вулкана Корякский, которая выразилась в мощной паро-пепловой деятельности через вновь образованные и действующие выходы фумарол на северо-западном склоне на высотах 2800-2900 м.

Динамика извержения вулкана Корякского хорошо просматривалась из района центральной части ППН (рис. 4 а-в).

С 12 по 22 августа 2009 г. в стволе скважины № 3 осуществлялась регистрация ОА Rn. С 12-го августа до середины суток 16-го августа регистрировались фоновые значения ОА Rn 0.6 кБк/м^3 (рис. 4д). Этому периоду соответствовала умеренная активизация вулкана, которая выражалась в истечении паро-газовой смеси из фумарол (рис. 4а). Резкое увеличение ОА Rn до 2.5 кБк/м^3 в конце дня 16 августа совпало с увеличением высоты пепло-паровой струи с содержанием небольшого количества пепла (рис. 4б).

С 18 августа ОА Rn начала уменьшаться и к 20 августа вышла на уровень один кБк/м^3 . В конце дня 20 августа зарегистрирован резкий всплеск значений ОА Rn до 1.5 кБк/м^3 , который также был зафиксирован радиометром РГА-04, расположенном в подвале глубиной ~ 2 м одного из строений на территории центральной части ППН (врезка, рис. 4д). В этом случае возрастание ОА Rn в три раза (с 0.15 кБк/м^3 до 0.45 кБк/м^3) объясняется тем, что в закрытом помещении при отсутствии воздухообмена и увеличении поступления Rn из грунта происходит сдвиг равновесия между материнским изотопом и продуктами его распада.

Известно, что атмосферное давление сильно влияет на сток радона в атмосферу. В рассматриваемый период резких изменений атмосферного давления не было (рис. 4д) и вариации ОА Rn были обусловлены, вероятнее всего, изменением интенсивности диффузионно-конвективной миграции Rn под действием вариаций напряженно-деформированного состояния геосреды.

Следует отметить, что с 16 августа на спутниковых снимках NOAA фиксировался постоянный газовый шлейф с присутствием пепла, распространявшийся под действием ветра на

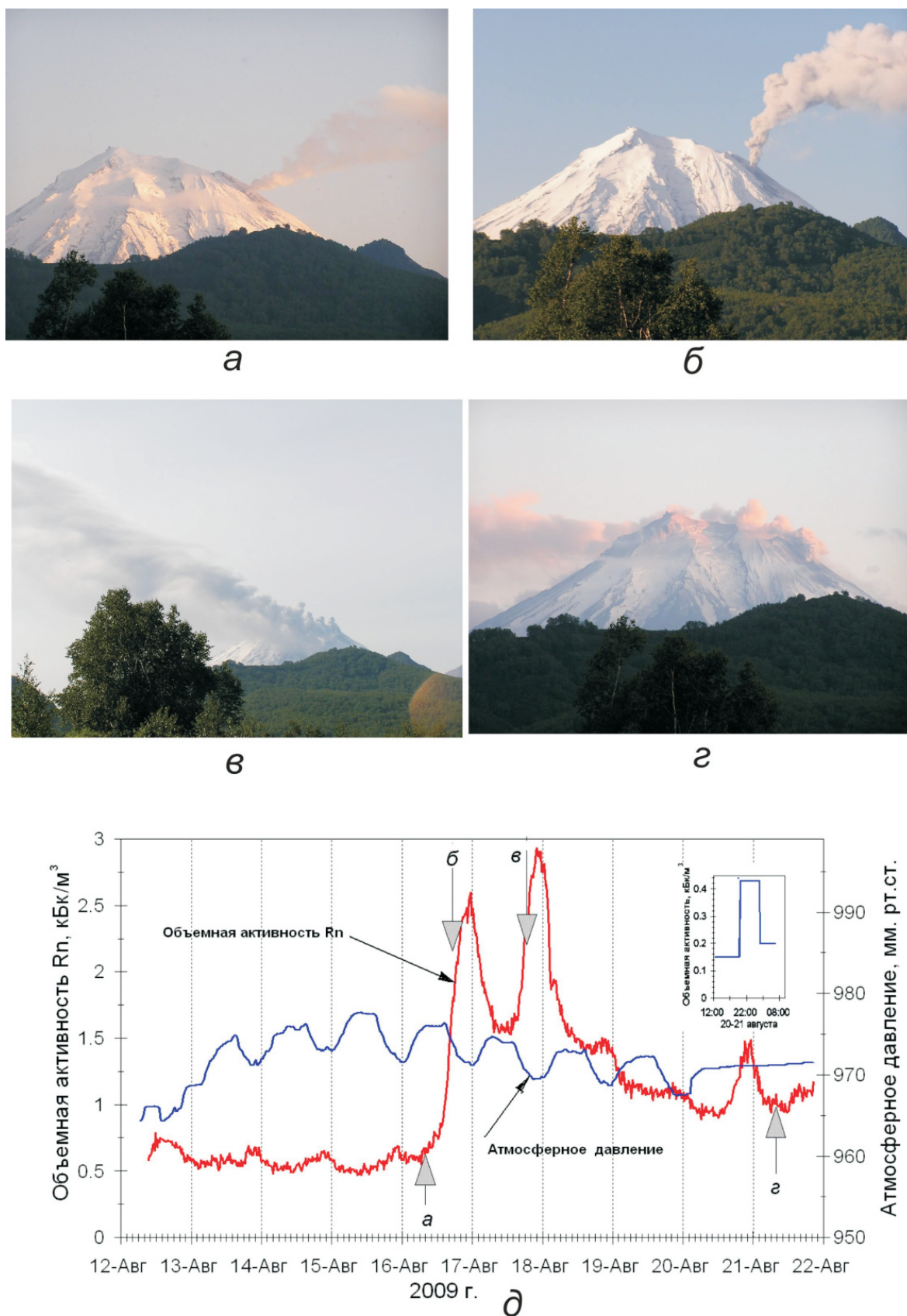


Рис. 4. Состояние вулкана Коржянского в 2009 г.: *а* – 7^h, 16.07; *б* – 19^h, 16.07; *в* – 22^h 30; 17.08; *з* – 9^h, 21.08 (фото П.П. Фирстова); *д* – динамика ОА R_n в стволе скважине № 3 и атмосферное давление за период 12-22 августа. На врезке показана вариация ОА R_n в подвале жилого помещения, зарегистрированная радиометром РГА-04. Стрелками отмечены моменты, для которых показано состояние вулкана Коржянского на рисунках *а-з*. Время UT.

расстояние более 100 км от вулкана (Сенюков, Нуждина, 2010). Таким образом, активизация вулкана Корякский и синхронные изменения в динамике ОА Rn в районе ППН указывают на связь этих процессов, обусловленную вариациями регионального поля напряжений.

Происходящие в Курило-Камчатском регионе землетрясения являются отражением меняющейся во времени перестройки полей сейсмотектонических напряжений, связанных с процессом взаимодействия Тихоокеанской и Евразийской тектонических плит. С 30 июля по 3 августа 2010 г. в Авачинском заливе на расстоянии около 180 км произошла форшок-афтершоковая последовательность землетрясений с максимальным энергетическим классом $K_{max} = 14.1$ на глубинах 20-60 км. Через две недели южнее мыса Шипунского в Кроноцком заливе на расстоянии 115 км произошла вторая последовательность землетрясений на глубинах 40-60 км с $K_{max} = 12.9$. На рис. 5 показаны эпицентры этих последовательностей землетрясений с $K \geq 10$.

21-го июля 2010 г. в пункте ППН в стволе скважины № 3 на глубинах 2 и 5 м были установлены два газоразрядных счетчика радиометра

РЕВАР и начался непрерывный мониторинг ОА Rn с целью поиска предвестников сильных землетрясений Южной Камчатки. В динамике ОА Rn можно выделить два периода превышения значений ОА Rn над фоном на 30% (рис. 6). Первая аномалия с 24 по 28 июля предшествовала рою землетрясений в Авачинском заливе, а вторая аномалия с 30 июля по 2 августа совпала по времени с роевой последовательностью, и, по мнению авторов, является предвестником землетрясений в Кроноцком заливе. Следует отметить, что эти аномалии зарегистрированы и в других пунктах сети радонового мониторинга КФ ГС РАН (Макаров, 2010). Это дает основание связывать данные аномалии с перестройкой регионального поля напряжений на заключительной стадии подготовки форшок-афтершоковой последовательности землетрясений в Авачинском заливе.

γ-СЪЕМКА ТЕРМАЛЬНЫХ ПЛОЩАДОК И ПРОФИЛЬНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ОА Rn

Распределение изолиний γ -съемки (J), выполненной на термальной площадке «Котел», имеет мозаичную и сложно-дифференцированную

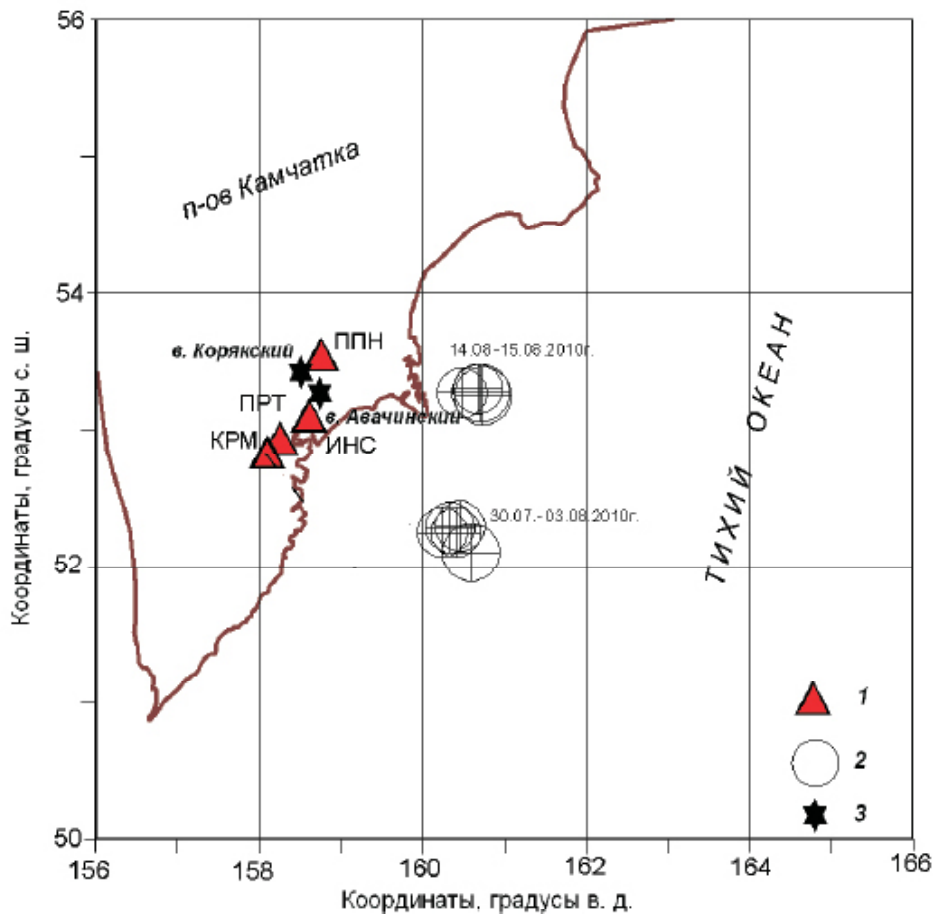


Рис. 5. Схема расположения пунктов сети радонового мониторинга КФ ГС РАН в 2009-2010 гг. и карта эпицентров землетрясений с $K \geq 10$ за июль-август 2010 г.: 1 – пункты регистрации; 2 – эпицентры землетрясений; 3 – вулканы. ППН – «Природный парк «Налычево», ИНС – «Институт вулканологии и сейсмологии», ПРТ – «пос. Паратунка», КРМ – «Река Карымшина».

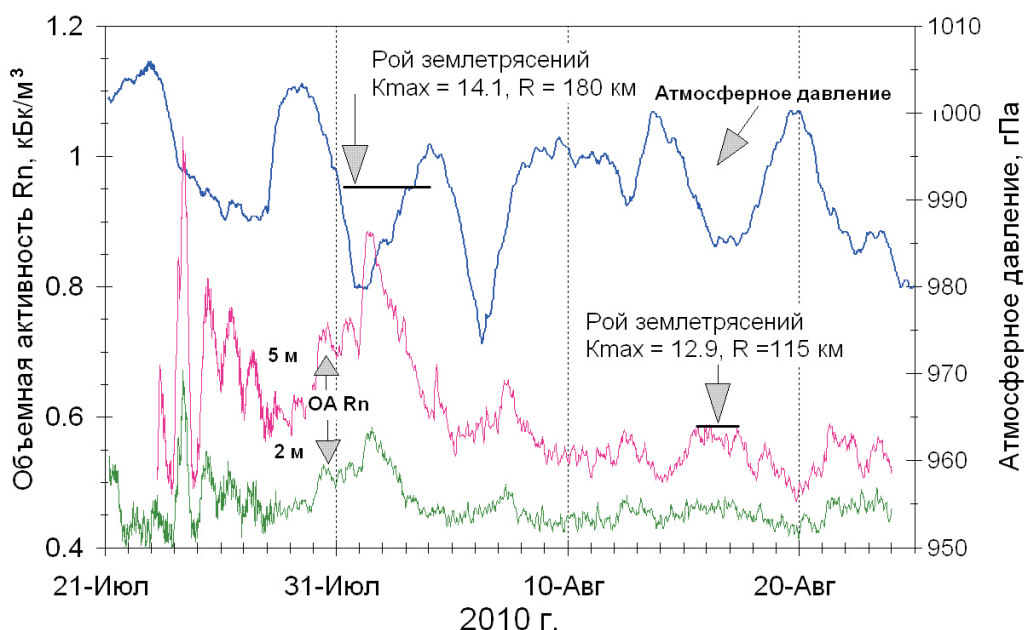


Рис. 6. Динамика ОА Rn в стволе скважины № 3 и вариации атмосферного давления в августе 2010 г.

структуру (рис. 7а). На периферии термальной площадки значения $I = 3.5-6$ мкР/ч. В районе травертинового купола величина мощности экспозиционной дозы γ -съемки варьирует от 5 до 36 мкР/ч. Достаточно уверенно выделяются отдельные аномальные области, в которых значение $I \geq 20$ мкР/ч. Такие области, как правило, располагаются вблизи отдельных грифонов, через которые ранее осуществлялась разгрузка термальных вод.

Локальные аномалии γ -съемки, выполненной на термальной площадке «Грифон Иванова», изменяются от 1.5 до 10 мкР/ч. Они имеют четко выраженное простирание (СЗ-ЮВ) в направлении руч. Термального (рис. 7б). По-видимому, на этом расстоянии происходит, в основном, осаждение радиевых минералов в формирующемся травертиновом покрове. Вы-

деляются две локальные аномалии величиной 8-10 мкР/ч. Одна сформировалась вокруг грифона, а другая расположена на расстоянии около 90 м от него. Здесь, по-видимому, в результате охлаждения создаются условия для выпадения радийсодержащих минералов с образованием $RaSO_4$, а также изоморфного замещения Ra в барите, что характерно для сульфидных залежей в океане (Краснов, 1995).

Выполненные исследования показали, что наиболее высокие значения ОА Rn в почвенном воздухе приурочены к травертиновому покрову термальной площадки «Котел» (рис. 8, точки измерений 13, 16, 18). Это указывает на общий источник ядерно-геофизических аномалий. Наибольшее зарегистрированное значение ОА Rn составило 78.6 кБк/м³. За пределами купола высокие значения ОА Rn совпадают с

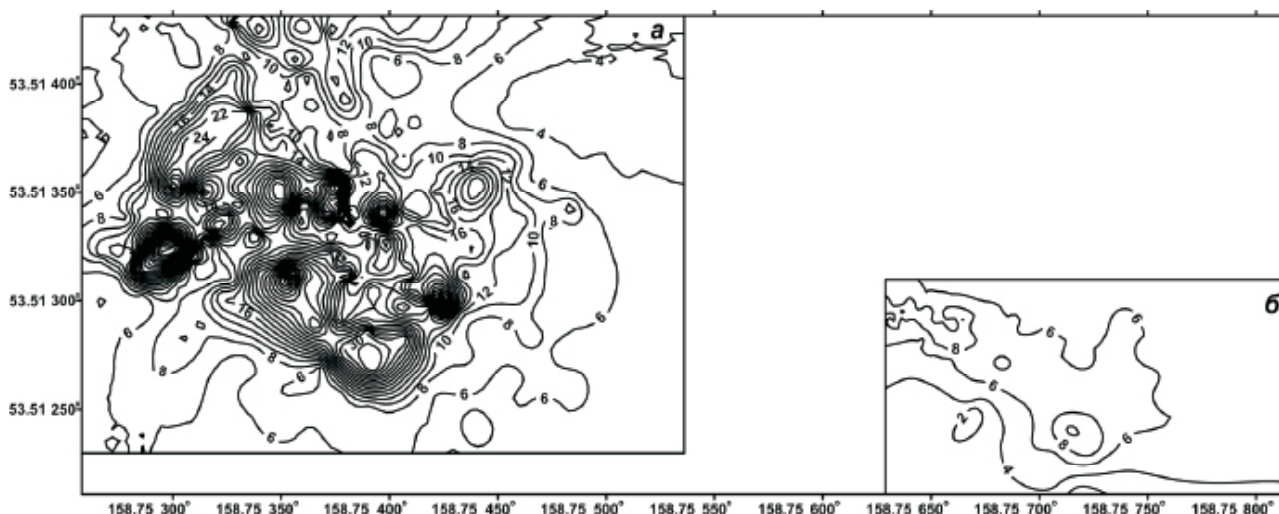


Рис. 7. Карта изолиний γ -поля термальных площадок «Котел» (а) и «Грифон Иванова» (б), мкР/ч.

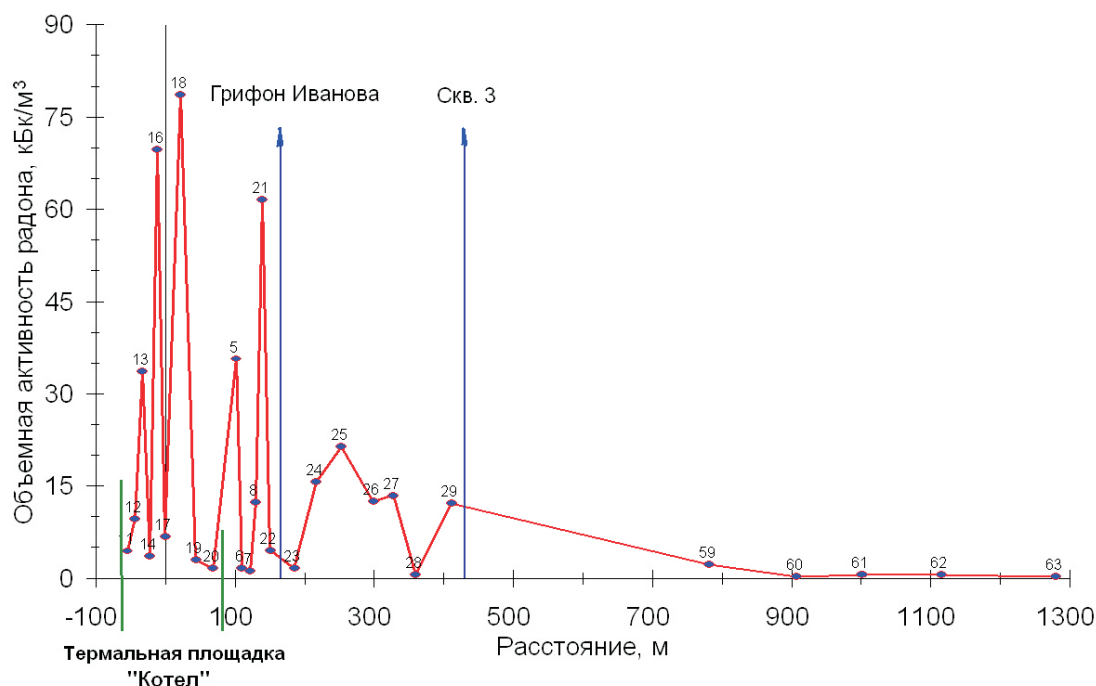


Рис. 8. График объемной активности радона по профилю термальной площадки «Котел» — речка Горячая (рис. 2, врезка). По горизонтальной оси за условный ноль принят центр купола «Котел».

зонами дизъюнктивных нарушений, которые, как правило, трассируются отрицательными формами рельефа (рис. 8, точки измерений 21, 25, 29). Фоновые значения ОА Rn за пределами травертинового покрова не превосходят одного кБк/м³ (рис. 8, точки измерений 59-63). Значения ОА Rn в районе термальной площадки «Грифон Иванова» не превышают 5 кБк/м³ (рис. 8, точки измерений 22, 23).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мониторинг динамики ОА Rn в стволе скважины № 3 показал тензо-чувствительность пункта радонового мониторинга ППН КФ ГС РАН к изменениям напряженно-деформированного состояния геосреды. В августе 2009 г. наблюдалась связь динамики ОА Rn с проявлениями активности вулкана Корякский. В сентябре 2010 г. перед двумя роями землетрясений в Авачинском заливе (30 июля-3 августа, $K_{max} = 14.1$), и на юге Кроноцкого залива (10-15 августа, $K_{max} = 12.9$) были зарегистрированы бухтообразные аномалии ОА Rn, превышающие фоновое значение на 30%. Это свидетельствует о высокой тензо-чувствительности пункта ППН к изменениям напряженно-деформированного состояния геосреды района Авачинского залива.

Величина мощности экспозиционной дозы γ -съемки в районе термальной площадки «Котел» варьирует в диапазоне 5-36 мкР/ч с образованием отдельных аномалий величиной $I \geq 20$ мкР/ч. Аномалии обусловлены повы-

шенным содержанием радия, который откладывался в травертиновом покрове в зонах разгрузки термальных вод. На термальной площадке «Котел» зарегистрированы аномально высокие значения ОА Rn в почвенном воздухе (до 78.6 кБк/м³). Эти значения обусловлены, с одной стороны, наличием эманулирующих коллекторов с повышенным содержанием Ra, сформировавшихся в относительно древних зонах разгрузки термальных вод, а с другой стороны, наличием дизъюнктивных нарушений.

В районе термальной площадки «Грифон Иванова» выделены локальные аномалии юго-восточного простирания, которые контролируются развитием современных отложений руч. Термального. В области развития этой аномалии, по-видимому, происходит современное осаждение радийсодержащих минералов при формировании образующегося травертинового покрова.

Список литературы

- Аверьев В.В.* О природе углекислых мышьяковистых вод и их рудообразующей деятельности // Вопросы формирования и распространения минеральных вод СССР. Тр. совещания курортных институтов по гидрогеологии минеральных вод 1958 г. М.: Медгиз, 1960. С. 87-103.
- Иванов В.В.* Основные закономерности формирования и распространения термальных вод Камчатки // Тр. Лаб. вулканол. 1961. Вып. 13. С. 186-209.

- Ковалев Г.Н., Комкова Л.А., Масуренков Ю.П.* О связи между некоторыми физико-химическими параметрами Налачевских гидротерм // Бюлл. вулканол. станций. 1969. № 45. С. 39-47.
- Комкова Л.А.* Гидрохимическая зональность фильтрующегося потока на примере Налачевского месторождения термальных вод // Молодые гидротермально измененные породы и минералы Камчатки и Курильских островов. М.: Изд-во Наука, 1969. С. 161-170.
- Комкова Л.А., Масуренков Ю.П., Филькова Е.М.* Осаждение железа и мышьяка термальными водами // Вулканизм и глубины земли. Материалы III Всесоюзного вулканологического совещания 28-31 мая 1969. М.: Изд-во Наука, 1971. С. 288-293.
- Краснов С.Г.* Крупные сульфидные залежи в океане // Природа. 1995. № 2. С. 3-14.
- Макаров Е.О.* Динамика подпочвенного радона на Петропавловск-Камчатском геодинамическом полигоне в июле-августе 2010 г. // Материалы VIII региональной молодежной научной конференции. Петропавловск-Камчатский, 2010. С. 85-96.
- Масуренков Ю.П., Комкова Л.А.* Геодинамика и рудопроявление в купольно-кольцевой структуре вулканического пояса. М.: Наука, 1978. 273 с.
- Набоко С.И.* Гидротермальный метаморфизм пород в вулканических областях. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 172 с.
- Новиков Г.Ф.* Радиометрическая разведка. Л.: Недра, 1989. 409 с.
- Новограбленов П.Т.* Налычевские и Краеведческие горячие ключи на Камчатке // Изв. Русск. геогр. Общества. 1929. С. 285-297.
- Пийп Б.И.* Термальные ключи Камчатки. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1937. 268 с.
- Пийп Б.И.* Материалы по геологии и петрографии района рек Авачи, Рассошины, Гаванки и Налычевы на Камчатке // Труды Камчатской комплексной экспедиции 1936-1937 гг. Выпуск 2. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1941. 119 с.
- Пузанков Ю. М.* Накопление радия в травертинах // Радиоактивные элементы в геологических процессах. Тез. докл. Душанбе: АН ТССР, 1975. С. 79-81.
- Пузанков Ю. М., Бобров В.А., Дучков А.Д.* Радиоактивные элементы и тепловой поток земной коры полуострова Камчатка. М.: Наука, 1977. 126 с.
- Рашидов В.А., Мельникова А.В.* Геомагнитные исследования термальной площадки «Котел» (Налычевская гидротермальная система, Камчатка) // Вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей: Материалы 38-й сессии Международного научного семинара имени Д.Г. Успенского, Пермь, 24-28 января 2011 г. Пермь: ГИ УрО РАН, 2011. С. 254-256.
- Селиверстов Н.И.* Активизация вулкана Корякский на Камчатке // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2009. № 1. Вып. 13. С. 7-9.
- Семенов В.И.* По вулканам и горячим источникам Камчатки. Петропавловск-Камчатский: Дальневост. кн. изд-во, Камч. отд-ние, 1983. 79 с.
- Сенюков С.Л., Нуждина И.Н.* Сейсмичность вулкана Корякский в 1966-2009 гг. // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Тр. Второй региональной научно-технич. конф. Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2010. С. 91-95.
- Фирстов П.П.* Мониторинг объемной активности подпочвенного радона (²²²Rn) на Паратунской геотермальной системе в 1997-1998 гг. с целью прогноза предвестников сильных землетрясений Камчатки // Вулканология и сейсмология. 1999. № 6. С. 33-43.
- Фирстов П.П., Рашидов В.А., Мельникова А.В. и др.* Комплексные геофизические исследования в природном парке «Налычево» (Камчатка) в 2010 году // Вулканизм и связанные с ним процессы традиционная региональная научная конференция, посвященная Дню Вулканолога. Тез. докл. Петропавловск-Камчатский. 30 марта - 1 апреля 2011 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2011. С. 86 (http://www.ivs.kscnet.ru/ivs/conferences/documents/tezis_2011.pdf).
- Фирстов П.П., Рудаков В.П.* Результаты регистрации подпочвенного радона в 1997-2000 гг. на Петропавловск-Камчатском геодинамическом полигоне // Вулканология и сейсмология. 2003. № 1. С. 26-41.
- Чердынцев В.В.* Ядерная вулканология. М.: Наука, 1973. 197 с.
- Шишканова К.О.* Новые данные о составе осадков из грифона Иванова (Налычевская гидротермальная система, Восточная Камчатка) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2006. № 2. Вып. 8. С. 201-205.
- Chafentz H.S., Folk R.L.* Travertines: depositional morphology and bacterial constructed constituents // J. Sediment. Petrol. 1984. V. 54. № 1. P. 289-316.
- Glyn W.-J., Rymer H., Mauri G. et al.* Toward continuous 4D microgravity monitoring of volcanoes // Geophysics. 2008. V. 73. № 6. P. WA19-WA28.
- Nishikawa O., Okrugin V., Belkova N., Saji I.* Crystal symmetry and chemical composition of youkonit: TEM study of specimens collected from Nalychevskie hot springs, Kamchatka, Russia and from Venus Mine, Yokon Territory, Canada // Mineralogical Magazine. 2006. V. 70 (1). P. 73-81.
- Onishchenko A., Zhukovsky M., Veselinovic N., Zunic Z.S.* Radium-226 concentration in spring

- water sampled in high radon regions // *Applied Radiation and Isotopes*. 2010. V. 68. P. 825-827.
- Pentecost A.* The Quaternary travertine deposits of Europe and Asia minor // *Quaternary Science Reviews*. 1995. V. 14. P. 1005-1028.
- Saji I., Nishikava O., Belkova N. et al.* Chemical and microbiological investigations of hot spring deposits found at the hydrothermal systems of Kamchatka Peninsula, Russia // *The Science Reports of Kanazawa University*. 2004. V. 48. № 1. 2. P. 73-106.
- Soligo M., Tuccimei P.* Radium-226 chronology of Holocene travertine from Esanatoglia (Central Italy) // *Quaternary Geochronology*. 2008. № 3. P. 89-98.
- Sugihara M., Ishido T.* Geothermal reservoir monitoring with a combination of absolute and relative gravimetry // *Geophysics*. 2008. V. 73. № 6. P. WA37-WA47.
- Zunic Z.S., Yarmoshenko I.V., Birovljevic A. et al.* Radon survey in the high natural radiation region of Niska Banja, Serbia // *J. Environmental Radioactivity*. 2007. V. 92. P. 165-174.

NUCLEAR-GEOPHYSICAL INVESTIGATION IN NALYCHEVO NATURE PARK, KAMCHATKA

P.P. Firstov¹, V.A. Rashidov², A.V. Melnikova³, V.I. Andreev², V.N. Shulzhenkova³

¹*Kamchatkan Branch of Geophysical Survey RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683006, e-mail: firstov@kscnet.ru*

²*Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683006*

³*Kamchatka Bering State University, 683032*

Over the period 2009-2010 the authors conducted a nuclear-geophysical investigation in Nalychevo Nature Park. Local anomalies with γ -radiation ($I \geq 20-30 \mu\text{R/h}$) were detected within Kotel thermal area. The anomalies were caused by high radium concentration which deposited in travertine field of thermal spring's sources. The authors also detected high levels of volumetric activity of radon in soil air caused, on one hand, by emanating collectors with high radium content in travertine within the zones of old sources of thermal springs and, on the other hand, by zones of fracture observed as negative landforms. Formation of travertine field at the non-natural thermal field «Grifon Ivanova» is accompanied by deposition of radium-bearing minerals within a few hundreds of meters away from the source with $I \geq 20-30 \mu\text{R/h}$ along the drain.

Keywords: Nuclear-Geophysical, γ -survey, radon, thermal area, travertine, Nalychevo.