

УДК 550.845:52–125:550.348.436

ГЕОЛОГО-ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПИНАЧЕВСКОГО И ВЕРХНЕ-ПАРАТУНСКОГО ПОЛИГОНОВ МОНИТОРИНГОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Поletaев В.А., Кузьмин Ю.Д., Рябинин Г.В.

*Камчатский филиал ФИЦ ЕГС РАН, г.Петропавловск-Камчатский,
polet@emsd.ru, kuzy@emsd.ru, gena@emsd.ru*

Введение

Задачей данной работы было исследование геолого-структурной обстановки Пиначевского и Верхне-Паратунского полигонов мониторинговых наблюдений, находящихся на противоположных флангах Малкинско-Петропавловской зоны Южной Камчатки, их значения для прогноза землетрясений.

Малкинско-Петропавловская складчато-глыбовая зона общей площадью более 7 тыс.км², имеет отчетливо выраженную северо-западную ориентировку блоков и линеаментов, в отличие от общего северо-восточного простирания, характерного для Камчатки. Она относится к неотектоническим структурам первого порядка [1, 3]. Границы зоны отчетливо проявлены в магнитных и гравитационных полях. Структура, по геофизическим данным, хорошо прослеживается на юго-восток в дне Авачинского залива [2]. Главные геодинамические особенности района связаны с его окраинно-континентальной позицией в непосредственной близости от выхода на поверхность сейсмофокальной зоны. Зона сформировалась в результате движений по нарушениям практически всех направлений, сопряженных с разломами главного, северо-западного, направления. Наиболее молодая система – субширотная, имеет сдвиговый характер и связана с субмеридиональными грабенами (долины р. Паратунки и р. Лево́й Быстрой). Субмеридиональные нарушения относят к расколам, с которыми связаны выходы термальных вод, излияния современных базальтов [4]. Геологическое строение и структурное положение Малкинско-Петропавловской зоны, несомненно, оказывает влияние на распространение сейсмических напряжений при подготовке землетрясений. Важную роль в решении задачи прогноза сильных сейсмических событий играют наблюдения за режимом подземных вод, которые целенаправленно осуществляются с целью поиска гидрогеологических предвестников землетрясений. В данной работе нами предпринята попытка увязать предвестниковые изменения химического состояния подземной гидросферы с геологическим строением территории.

Методика исследований

При проведении работ по данной тематике нами были выбраны площади Пиначевского полигона (или станции), расположенного вблизи северо-восточной границы Малкинско-Петропавловской зоны и Верхне-Паратунского – у юго-западной границы, хорошо изученные, круглогодично доступные. Методика выполнения базировалась на многолетних режимных наблюдениях, проводимых лабораторией гидросейсмологии [5, 12, 13, 15], дешифрировании АФС, изучении и анализе структурно-геологической обстановки по результатам многочисленных геологических и гидрогеологических съемок ПГО «Камчатгеология» [2, 4, 14].

Станция "Пиначево" в настоящее время включает два наблюдательных водопункта (слаботермальных источника) и скважину ГК-1 глубиной 1261 м. Мониторинговое гидрохимическое опробование здесь проводится с 1977 года.

В геолого-структурном отношении Пиначевские источники приурочены к южной границе довольно крупного массива андезидацитов плиоценового возраста, слагающего окрестные возвышенности. Внедрение андезитов и формирование и разгрузка гидротерм на участке отражает существование и развитие глубинного тектонического шва мощной зоны Петропавловского глубинного разлома северо-западного простирания. Отмечают также связь Пиначевских источников со структурой северо-восточного простирания – «Термального рифта» развивающемся по прогибу мелового фундамента (по Масуренкову Ю.П.) [8]. или «долгоживущей зоной растяжения» того же простирания, к которой приурочены активные вулканы и гидротермальные системы [10].

Геологический разрез участка представлен тремя комплексами пород. Скважина ГК-1 вскрывает рыхлые гравийно-галечниковые отложения, чередующимися с сильно раздробленными андезидацитами экструзивного массива. Мощность четвертичного комплекса составляет 524 м. В

интервале глубин 524–1217 м залегает комплекс вулканогенно-осадочных пород андезибазальтового состава неогена. Породы неогена представлены, в основном, среднесцементированными псефитовыми туфами. На глубине 1217 м скважиной ГК-1 вскрыт комплекс меловых отложений, который представлен рассланцованными песчаниками с прослойками филлитовидных сланцев. Основной приток воды и газа получен в интервале 404–406 м, в три раза меньший – с интервала 611–616 м. Далее, с глубиной, фильтрационных свойств неогеновых и меловых пород ухудшаются. Основной приток термальных вод сосредоточен в интервале глубин 1140–1261 м [14, 15].

Станция *Верхняя Паратунка* в пределах Верхнее Паратунского месторождения термальных вод. Станция включает в себя три самоизливающихся скважины: ГК-5 (глубина 900 м), № 44 (650 м), ГК-15 (1208 м), опробуемые по традиционной методике с 1988 года. Автоматизированные гидрогеохимические наблюдения на скважине ГК-37 (1757 м): термодинамические (Р, Т) и газовые (водород), с интервалом между измерениями от 1 минуты до 1 часа; измерения радона, торона и водорода в четырехметровой сухой измерительной скважине и приповерхностном слое земли.

В структурном плане район станции расположен в юго-западной части Малко-Петропавловской складчато-глыбовой зоны и в зоне влияния Вилучинского линиямента, разделяющего тектонические структуры первого порядка, собственно, Малко-Петропавловскую зону и Южно-Камчатскую блоковую зону. Район характеризуется интенсивным проявлением разрывной тектоники (заложение Паратунского грабена, блоковое строение кристаллического фундамента) и густой сетью разломов различных порядков, способствующих образованию мощного трещинного коллектора для подземных вод, выводу глубинных термальных вод в приповерхностные горизонты, гидравлической связи различных водоносных комплексов и горизонтов. Геологический разрез участка, судя по результатам бурения поисковых и разведочных скважин, представлен тремя комплексами пород. Комплекс современных, преимущественно валунно-галечниковых отложений мощностью от 4.2 м (скв. ГК-5) до 66.8 м (скв. 44). Комплекс миоценовых вулканогенных и вулканогенно-осадочных образований представлен лавами, игнимбритами, липаритами, туфами преимущественно андезибазальтового состава, андезитами, базальтами, туфопесчаниками, туфоалевролитами, туфоконгломератами, мощностью от 821 м (ГК-15) до 834 м (ГК-5). Третий комплекс эоцен-олигоценых вулканогенных и вулканогенно-осадочных образований представлен туфоалевролитами, туфоаргиллитами, туфопесчаниками, туфами преимущественно андезибазальтового состава, андезитами мощностью более 320 м (ГК-15). Глубина вскрытия термальных вод в скважинах варьирует от 30 до 1450 м. Зоны водопитока сосредоточены в интервалах глубин 400 – 600 м.

Элементы сходства – различия в геологии, структурного положения и гидрогеологических особенностей Пиначевского и Верхне-Паратунского полигонов мониторинговых наблюдений отражены в табл. 1.

Обсуждение результатов

Наблюдения за режимом подземных вод играют важную роль при поисках гидрогеологических предвестников землетрясений. Из общего количества гидрогеологических предвестников, каковыми в настоящее время считаются: общие физико-химические показатели (температура, расход скважин и источников, Eh, pH, мутность), вариации концентраций растворенных макрокомпонентов и кислот, вариации концентраций свободных и растворенных в воде газов, вариации изотопных соотношений. Для решения поставленной в задачи геологического положения полигона (станции) гидрогеохимических наблюдений с целью определения направления сейсмического события использовались вариации растворенных в воде макрокомпонентов. Характеристика их приведена в таблице 2, а расположение эпицентров показано на рисунке 1.

Рассматривая геологические особенности (табл. 1) выделяются, прежде всего, различия в мощностях рыхлых четвертичных отложений, которые на Пиначевском полигоне практически в 10 раз превышают таковые на Верхне-Паратунском. Известно, что рыхлые образования менее сейсмоустойчивы, а, следовательно, более резонируют колебания.

Отмечается, что вулканиды и субвулканические массивы на Пиначевском полигоне, в целом, имеют более основной состав и ближе расположенную поверхность мелового фундамента. Известно, что геологическое строение и состав пород оказывают влияние на состав водных растворов. Результаты экспериментальных исследований, проведенных в ГЕОХИ еще в 70-е гг. показали, что при взаимодействии воды с базальтом в условиях повышенных температур и давлений образуются растворы, обогащенные кремнеземом, глиноземом и щелочами. В раствор слабо переходят Fe и K, а

Mg обнаруживается в «следах». В результате взаимодействия гранитов с водой образуются растворы, отвечающие составам пегматитов с избыточным кварцем [9].

Оба района (полигона) характеризуются интенсивным проявлением разрывной тектоники, при этом, на Пиначевском определяющее значение имеют глубинные разломы и зоны растяжения (грабены) северо-западного и северо-восточного направления, на Верхне-Паратунском – северо-западного и субмеридионального, в меньшей мере субширотного. Поэтому Пиначевский в большей степени способен отмечать напряженно-деформационные состояния не только к юго-востоку, но и в северо-западном направлении. Верхне-Паратунский более чувствителен к землетрясениям, эпицентры которых расположены к юго-востоку, что и подтверждается данными многолетних газо-гидрохимических наблюдений [5, 12, 13, 15].

Таблица 1.

Положение в Малко-Петропавловской зоне	Пиначевский в СЗ части	Верхне Паратунский в ЮВ части
Геологические особенности	3 комплекса пород: 1. Четвертичные рыхлые – более 500 м 2. Неогеновые вулканогенно-осадочные андезибазальтовые – около 700 м 3. Верхнемеловые рассланцованные песчаники, филлиты – более 50 м	3 комплекса пород: 1. Четвертичные рыхлые – менее 70 м 2. Миоценовые вулканогенные и вулканогенно-осадочные липарит-андезит-базальтовые – до 850 м 3. эоцен-олигоценные вулканогенные и вулканогенно-осадочные андезит-андезибазальтовые – более 320 м
Экструзивный массив	Андезидацитовый плиоцена	Липаритовый голоцена
Главные разломы	Петропавловский СЗ простираения, «Термальный рифт» СВ простираения	Вилючинский СЗ простираения и Паратунско_Асачинская меридиональная раздвиговая зона
Артезианский бассейн	Корякско-Авачинский	Паратунско-Быстринский
Глубина вскрытия термальных вод	1140 – 1261 м	от 30 до 1450
Химический состав воды	Хлоридный, кальциево-натриевый в скважине и гидрокарбонатно-хлоридный, магниевонатриевый - источников	Хлоридно-сульфатный, кальциево-натриевый
Газовый состав воды	Метановый	Азотный

Экспериментальные газотермодинамические наблюдения, включающие два пункта с двумя скважинами, на которых проводятся термодинамические (Р, Т) и газодинамические наблюдения за H_2 , Rn , Tn , позволяющие контролировать тектоническую деятельность Южной Камчатки и иногда далеких землетрясений [5, 6]. Анализ термодинамических данных показал, что суточные флуктуации параметров термальной воды в скважине ГК-37 (Верхняя Паратунка) летом имеют более регулярный характер, чем зимой. Спектральный анализ летних рядов показал, что в данных колебаниях присутствует только солнечная компонента. Лунных приливных колебаний не отмечается [11]. На рисунке 2 выражены изменения параметров термальной воды в скважине ГК-37, которые могут отражать процессы, связанные с подготовкой и реализации событий Командорского землетрясения 20.12.2018 (северо-восточное направление на источник сейсмического события).

Заключение

При всех некоторых чертах сходства–различия: геологии, структурном положении, химическом и газовом составе воды для целей среднесрочного прогнозирования землетрясений, по нашему мнению, решающее значение имеют геолого-структурные особенности полигонов. Так, благодаря влиянию главных разломов глубинного заложения, Верхнее-Паратунский полигон более «чувствителен» к землетрясениям, эпицентры которых расположены к юго-востоку, а Пиначевский в большей степени, способен отмечать напряженно-деформационные состояния не только к юго-востоку, но и в северо-восточном направлении [7], что подтверждается данными многолетних газо-гидрохимических наблюдений (по результатам опробования). Химический состав горных пород, слагающих участки (полигоны), мощности рыхлых образований, также влияют на «чувствительность» к напряженно-деформационному состоянию блоков земной коры.

Экспериментальные газотермодинамические наблюдения показали, что могут отражать процессы, связанные с подготовкой и реализацией землетрясений, достаточно удаленных (Командорское).

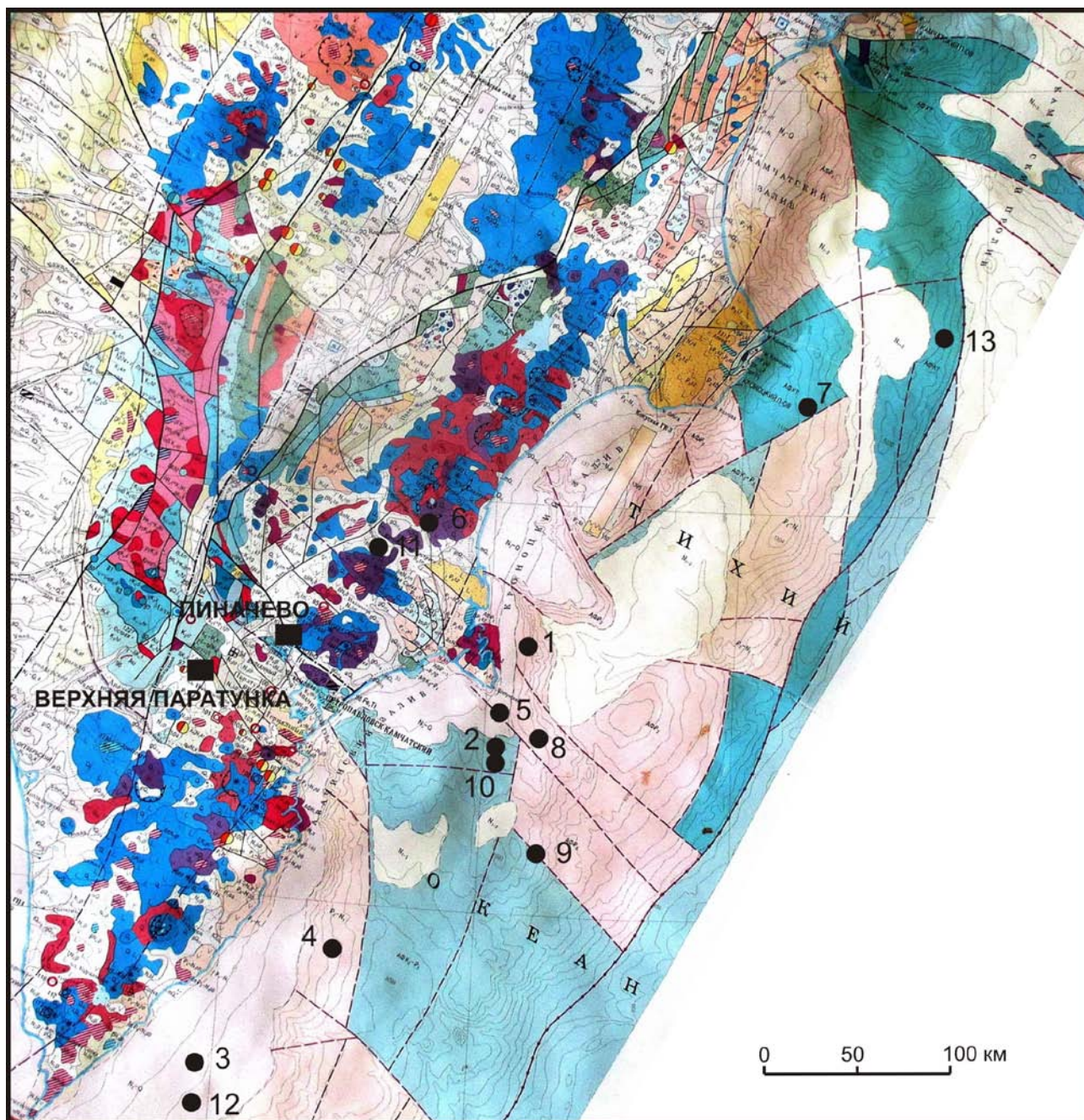


Рис. 1. Схема расположения Пиначевского и Верхнее-Паратунского полигонов гидрохимического мониторинга и эпицентров сильных землетрясений (показаны кружочками, номера соответствуют табл. 2). Геологическая основа с разломной тектоникой, по «Геологическая карта и карта полезных ископаемых Камчатской области и Корякского автономного округа. Масштаб 1 : 1 500 000», главные редакторы: А.Ф. Литвинов, Б.А. Марковский, В.П. Зайцев. Карт фабрика ВСЕГЕИ, 2005 [2]

Таблица 2.

№	Дата землетря- сения	M _w	H, км	Пиначево						Верхняя Паратунка						Направ- ление
				И-1		И-2/1		ГК-1		ГК-5		ГК-15		№44		
				+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	
1	01.03.1990	6.0	25		Cl ⁻ Na ⁺	Cl ⁻ Na ⁺		Cl ⁻ Ca ⁺								СВ
2	02.03.1992	7.1	20		Cl ⁻ Na ⁺	Cl ⁻ Na ⁺			Cl ⁻ Na ⁺						H ₄ SiO ₄	СВ
3	08.06.1993	7.4	40		Cl ⁻ Na ⁺			Cl ⁻ Na ⁺				H ₃ BO ₃		Cl ⁻	Na ⁺	ЮВ
4	13.11.1993	7.0	40		Cl ⁻ Na ⁺		H ₄ SiO ₄		Cl ⁻ Na ⁺		Na ⁺					ЮВ
5	07.05.1994	5.8	20		Cl ⁻ Na ⁺				Cl ⁻ Na ⁺							СВ
6	01.01.1996 Карымское	6.9	10	Cl ⁻ Na ⁺					Cl ⁻ Na ⁺				Na ⁺		Cl ⁻	СВ
7	05.12.1997 Кроноцкое	7.8	10	Ca ⁺ K ⁺	Cl ⁻ Na ⁺	Cl ⁻ Ca ²⁺ Mg ²⁺ Na ⁺ K ⁺			Cl ⁻			Ca ²⁺ Na ⁺ K ⁺	SO ₄ ²⁻			СВ
8	01.06.1998	6.2	31	Cl ⁻	Ca ²⁺				Cl ⁻							СВ
9	08.10.2001	6.5	24				HCO ₃ ⁻ Cl ⁻		Cl ⁻							СВ
10	26.07.2005	5.9	29		H ₃ BO ₃											СВ
11	30.01.2016 Жупанов- ское	7.2	180	Cl ⁻ Na ⁺				Na ⁺							Cl ⁻	СВ
12	06.07.2018	6.1	70		Cl ⁻ Na ⁺		K ⁺		Cl ⁻ Na ⁺		Cl ⁻ Na ⁺		K ⁺	Na ⁺		ЮВ
13	20.12.2018 Командор- ское	7.4	85		HCO ₃ ⁻ Cl ⁻ Na ⁺ K ⁺		Cl ⁻ Na ⁺		Cl ⁻ Na ⁺		HCO ₃ ⁻ Cl ⁻ Na ⁺					СВ

(+) рост содержаний перед землетрясением, (-) падение

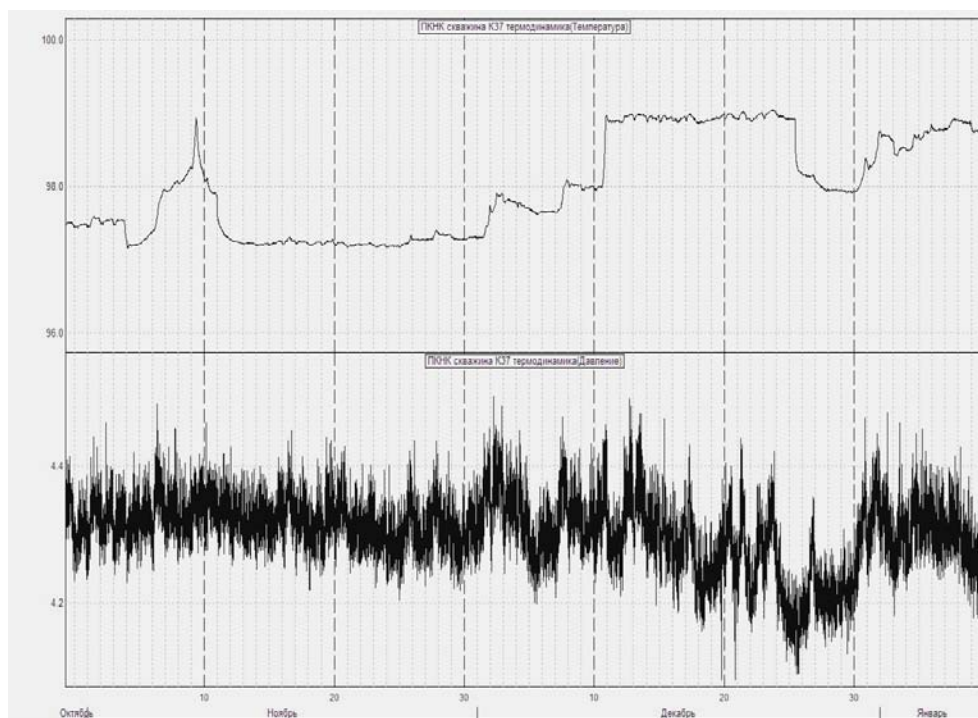


Рис. 2. Флуктуации термодинамических параметров термальной воды на скважине ГК-37

Список литературы

1. *Апрелков С.Е., Иванов Б.В., Попруженко С.В.* Тектоника и геодинамическая эволюция юго-восточной Камчатки (Петропавловский геодинамический полигон) // Тихоокеанская геология. 1999. Т. 18. № 3. С. 16–28.
2. Геологическая карта и карта полезных ископаемых Камчатской области и Корякского автономного округа. Масштаб 1 : 1 500 000», главные редакторы: А.Ф. Литвинов, Б.А. Марковский, В.П. Зайцев. 2005.
3. Государственная карта Российской Федерации. Масштаб 1:200 000. Серия Южно-Камчатская. Листы N-57-XXI, N-57-XXVII, N-57-XXXIII. Объяснительная записка. Составитель В.С. Шеймович. М.: 2000. 302с.
4. *Зимин В.М., Ворожейкина Л.А., Демченко Л.Д., Заненкова Т.К.* Сводный отчет о комплексных геологосъемочных, поисковых и специальных гидрогеологических работах масштаба 1:50 000, проведенных Паратунским съемочным отрядом в 1967-1971 гг. Елизово: ТГФ Камчатгеолкома, 1972.
5. *Кузьмин Ю. Д., Рябинин Г. В.* Мониторинг газового состава и гидрохимических параметров гидротермально-магматических систем // Геотермальные и минеральные ресурсы областей современного вулканизма. Петропавловск-Камчатский. 2005. С. 328–342.
6. *Кузьмин Ю.Д.* Результаты предварительных измерений термодинамических параметров на Верхне-Паратунской гидротермальной системе // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России: Труды IV региональной научно-технической конференции 29 сентября–5 октября 2013 г. Петропавловск-Камчатский. 2013. С. 74–78.
7. *Кузьмин Ю.Д., Поляев В.А.* Опыт определения «чувствительных зон» земной коры при гидрогеохимических исследованиях на Камчатке // Труды Шестой научно-технической конференции «Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России». Петропавловск-Камчатский. 1-7 октября 2017 г./ Отв.ред.Д.В.Чебров. Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. С.159–163.
8. *Масуренков Ю.П., Комкова Л.А.* Геодинамика и рудообразование в купольно-кольцевой структуре вулканического пояса. М.: Наука, 1978. 274 с.
9. *Овчинников А.М.* Гидрогеохимия. М.: Недра, 1979. 200 с.
10. *Поляк Б.Г., Вакин Е.А., Овчинникова Е.И.* Гидрогеотермические условия вулканического района Камчатки (г. Петропавловск-Камчатский). М.: Наука, 1965. 95 с.
11. *Руленко О.П., Марапулец Ю.В., Кузьмин Ю.Д., Солодчук А.А.* Совместное возмущение геоакустического, эманационного и атмосферно электрического полей у границы земная кора – литосфера перед землетрясением. // Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки. 2016. №3. С. 72–78.
12. *Рябинин Г.В.* Гидрогеохимические предвестники землетрясений в высокосейсмичном регионе : на примере юго-восточной части полуострова Камчатка Камчатка: диссертация ... кандидата геолого-минералогических наук : 25.00.03 М.: 2007. 170 с.
13. *Рябинин Г. В., Хаткевич Ю. М.* Гидрогеохимические эффекты, предшествующие сильным землетрясениям Камчатки. Алгоритм идентификации и морфологический анализ // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2009. Вып. 13. № 1. С. 107–122.
14. *Смирнова Н.Ф. и др.* Сводный отчет о результатах поисково-разведочных работ на Верхне-Паратунском месторождении термальных вод, проведенных в 1966 - 1980 гг. с подсчетом эксплуатационных запасов по состоянию на 17 мая 1980 г. ТГФ Камчатгеолкома, 1980.
15. *Хаткевич Ю. М., Рябинин Г. В.* Гидрогеохимические исследования на Камчатке в связи с поиском предвестников землетрясений // Вулканология и сейсмология. 2006. № 4 С. 34–42.