

ОПЫТ ОПРЕДЕЛЕНИЯ «ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЗОН» ЗЕМНОЙ КОРЫ ПРИ ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ НА КАМЧАТКЕ

Кузьмин Ю.Д., Полемаев В.А.

КФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский,

kuzy@emsd.ru, polet@emsd.ru

Введение

Основной задачей данной работы было исследование геолого-структурной обстановки отдельно взятого района на примере Карымшинского полигона с позиции «чувствительных зон» при выявлении предвестниковых эффектов землетрясений, предложенной и разработанной И.Г. Киссиным [6, 7] по аномальным вариациям уровня подземных вод в скважинах. Структурно эти зоны приурочены к разломам и к узлам крупных тектонических нарушений. С позиции этой концепции пункт наблюдения, расположенный в «чувствительной зоне» может оказаться информативнее, чем все другие, даже более близкие к очагу землетрясения, но расположенные в иных геолого-структурных условиях. В этой концепции, чувствительные зоны определялись по одному параметру – колебаниям уровня подземных вод, относящихся к гидродинамическим предвестникам. Однако такие чувствительные зоны могут выделяться и по гидрогеохимическим данным.

Методика исследований

Для проведения работ по данной тематике нами была выбрана Верхне-Паратунская гидротермальная система (ВП ГТС), как расположенная в сложном геолого-структурном и тектоническом районе Южной Камчатки, хорошо изученная, круглогодично доступная. Методика выполнения базировалась на многолетних режимных наблюдениях, проводимых лабораторией гидросейсмологии на Карымшинском полигоне [8, 15, 16, 18], дешифрировании АФС, изучении и анализе структурно-геологической обстановки по результатам многочисленных геологических и гидрогеологических съемок ПГО «Камчатгеология» [1, 4, 6, 17].

Представленная карта-схема чувствительных зон базируется, прежде всего, на структурно-тектонических элементах Верхне-Паратунского участка, составной частью которого является Карымшинский полигон (рис. 1).

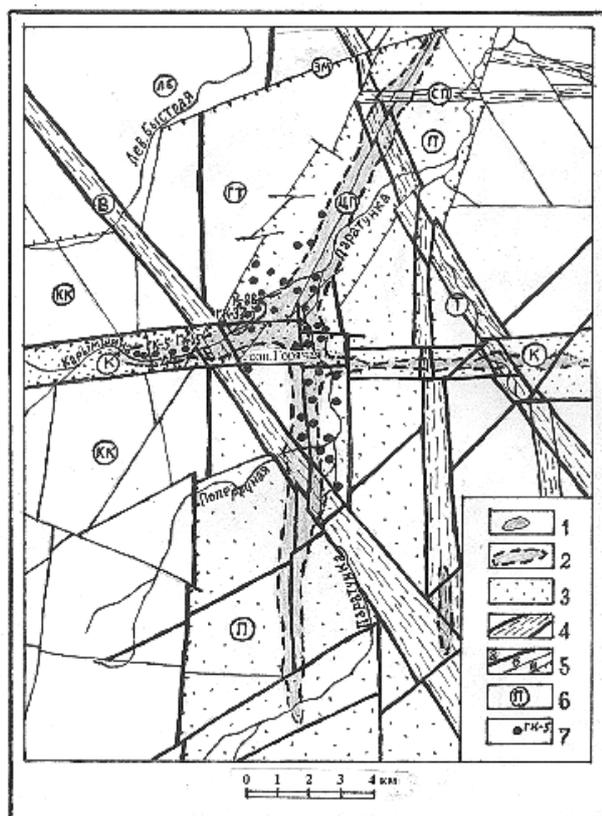


Рис. 1. Карта-схема чувствительных зон Карымшинского полигона.

Чувствительные зоны: 1 – первого порядка, 2 – второго порядка; перспективные структуры (3–4): 3 – грабены, 4 – разломные зоны; 5 – разломы: первого порядка (а), более мелкие (б), с указанием падения смесителя (в); 6 – названия тектонических структур: Паратунский грабен (П), Карымшинский грабен (К), горст хребта Тополового (ГТ), Лео-Быстринская депрессия (ЛБ), зона развития преимущественно клиновидных блоков (КК), Тополовская разломная зона (Т), Вилючинский разлом (В), Средне-Паратунская разломная зона (СП), взброс Зайкина Мыса (ЗМ), Вилючинско-Паратунский меридиональный взброс (ВП), Центрально-Паратунский субмеридиональный разлом (ЦП); 7 – буровые скважины (номер обозначен только у мониторинговых ЛГС).

В геологическом отношении район характеризуется интенсивным проявлением разрывной тектоники, предопределившей общий структурный план территории: заложение Паратунского грабена, блоковое строение кристаллического фундамента, общее погружение Паратунской депрессии с наклоном к востоку, что и обусловило основные черты гидрогеологических, геотермических, гидрохимических, гидродинамических особенностей ВП ГТС.

Верхне-Паратунская ГТС генетически связана с Карымшинским вулканоплутоническим комплексом и горстовым поднятием Тополового хребта. В островодужную стадию в олигоцен-миоцене здесь действовал долгоживущий вулканический центр, в границах которого формировался вулканогенно-осадочный вилючинско-паратунский комплекс пород. В его строении принимали участие вулканогенно-осадочные образования, среди которых получили широкое развитие водонепроницаемые черные аргиллиты, слагающие верхние части разрезов вилючинско-паратунского комплекса. В плиоценовое время в данном районе сформировался обширный коровый магматический очаг. В голоценовое время произошла активизация вулканической деятельности, в результате которой образовалась экстрюзия – сопка Горячая. Вблизи нее наблюдается тепловая аномалия, которая свидетельствует об аномальном подтоке глубинного тепла в северной части этой сопки и у подножья. Предполагается, что на пересечении двух систем разломов (субмеридиональной и субширотной) размещается обширный коровый остывающий очаг, который сформировал очаг нагрева ВП ГТС и обусловил их поверхностную разгрузку. Возраст этой экстрюзии определяется границей верхнего плейстоцена и голоцена [2, 4].

Главная структурообразующая роль на территории ВП ГТС принадлежит, прежде всего, Паратунскому грабену.

Паратунский субмеридиональный грабен (П) представлен своеобразной мозаикой блоков. Восточное ограничение грабена прослеживается вдоль подножья правого борта Паратунской депрессии – хребта Берегового. Западный контур – совпадает с подножьем хребта Тополового. Граничные субмеридиональные разломы имеют плоскости смесителя, ориентированные в сторону погружения под углами 70–80°, наиболее выраженные в южной части. Внутренняя структура грабена представляет собой клавишно-глыбовую систему, в общем случае, элементов отрицательного погружения. Общая суммарная амплитуда погружений, определенная геологическими методами, по разности абсолютных отметок одних и тех же горизонтов в хребте Тополовом и в скважинах долины р. Паратунка на разных участках оценивается в 600–800 м и достигая 1 км к осевой части – Центрально-Паратунскому разлому (ЦП), а в районе сопки Горячей амплитуда не превышает 200 м [1, 5]. Анализ данных о поперечных структурах, осложняющих дно Паратунского грабена показывает общее погружение блоков к северу. Центрально-Паратунский разлом Б.И. Пийп еще в 30-х гг. называл Паратунской термальной линией [12].

Карымшинский грабен (К) субширотного простирания пересекает Паратунский грабен и образован целой серией нарушений, самые крайние из которых имеют падения смесителей навстречу друг другу под углами порядка 60°. В целом, его можно считать субширотной грабенообразной разломной зоной или депрессией. Время образования структуры относится к концу среднего миоцена [4].

Горст хребта Тополового (ГТ) – горстоподобная структура общего субмеридионального простирания. Границы ее определяются системой разновозрастных тектонических нарушений. К северу от взброса Зайкина Мыса преобладают субмеридиональные линеаменты, юго-западнее структура имеет мозаично-блоковое строение с четко выраженной ролью меридиональных, субмеридиональных и субширотных разломов. Амплитуда вертикальных перемещений пород в блоках достигает первых сотен метров. Горизонтальная составляющая смещений оценивается в отдельных случаях до 150–200 м. Начало формирования структуры, выраженное в поднятии и консолидации блока на участке Зайкин Мыс – сопка Горячая, относится к нижнему миоцену. Окончание – с заложением субмеридиональных разломов в нижнем плейстоцене [2, 4].

Зона развития преимущественно клиновидных блоков (КК) выделяется в западной части и подчеркивает клавишно-блоковое строение территории. Эта зона слагает приподнятое, в общем плане, крыло Паратунского грабена.

Тополовская (Т) и Вилючинская (В) разломные зоны имеют определяющее для всей Малкинско-Петропавловской складчато-глыбовой зоны северо-западное простирание.

Вилючинская разломная зона (Вилючинский линеамент, Вилючинский глубинный разлом) состоит из серии кулисообразных разломов с близвертикальным падением смесителей [1, 4, 5]. Зона прослеживается от восточного побережья Южной Камчатки через подножье Вилючинского вулкана в Начикинскую депрессию. Поперечная к разломам зона (линеамент) разбита на отдельные сегменты с

различными амплитудами смещения, достигающие до первых сотен метров. Заложилась зона в нижнем миоцене и была активна в четвертичную эпоху.

Тополовская разломная зона представляет собой узкую грабеноподобную структуру с максимумом погружения в осевой части около 300 м. Возраст образования – конец нижнего миоцена [4].

Описанные тектонические структуры имеют важное значение для представления о сложной напряженно-деформационной обстановке района, характеризующейся широким развитием обстановок общего сжатия (горст хребта Тополового, зоны развития клиновидных блоков на западе и востоке района) и **растяжения** (Паратунский и Карымшинский грабены).

Особенностью исследований Карымшинского участка ВП ГТС является изучение газогидрогеохимического состава природных термальных вод традиционным мониторинговым опробованием через 6 дней, уже на протяжении 30 лет на трех скважинах (ГК-5, ГК-15, № 44). Для постановки экспериментальных и режимных наблюдений на ВП ГТС были организованы автоматизированные гидрогеохимические наблюдения: термодинамические (P , T) и газовые (водород) с начала на скважине К-88, а с 2014 г. – на скважине ГК-37 с интервалом между измерениями от 1 минуты до 1 часа; измерения радона, торона и водорода в 4-х метровой сухой измерительной скважине и приповерхностном слое земли. Для производства термодинамических и газохимических наблюдений была изготовлена и установлена проточная система измерений на устье скважины [11].

Обсуждение результатов

Известно, что подземная гидросфера – один из наиболее чувствительных индикаторов напряженно-деформационного состояния природной среды, изменение которого зачастую связано с процессами подготовки и реализации землетрясений [10, 13, 14]. С нашей точки зрения, наиболее информативными, чувствительными зонами для выявления предвестниковых эффектов землетрясений служат не только, и не столько, узлы пресечения крупных разломов (а таковых великое множество, поэтому трудно установить чувствительные), а участки пересечения структур растяжения (грабенов), особенно расположенные вблизи краевых пограничных частей (скв. ГК-37, К-88). Зоны грабенов наиболее трещиноваты и насыщены газовой-водным флюидом, посредством которого, согласно общеизвестному закону Б. Паскаля, передаются накапливающиеся напряжения по водонасыщенным межблочным прослойкам, что изменяет напряженно-деформационное состояние горных пород. Такие зоны можем считать чувствительными зонами первого порядка.

Чувствительность зоны подтверждается наблюдениями за термодинамическими параметрами скважины ГК-37, которые показывают, что для данной гидротермальной системы имеется внешний регулярно возмущающий фактор, на который система избирательно откликается в виде определенного вида околосуточных флуктуации (рис. 2), механизм которых предстоит еще выяснить.

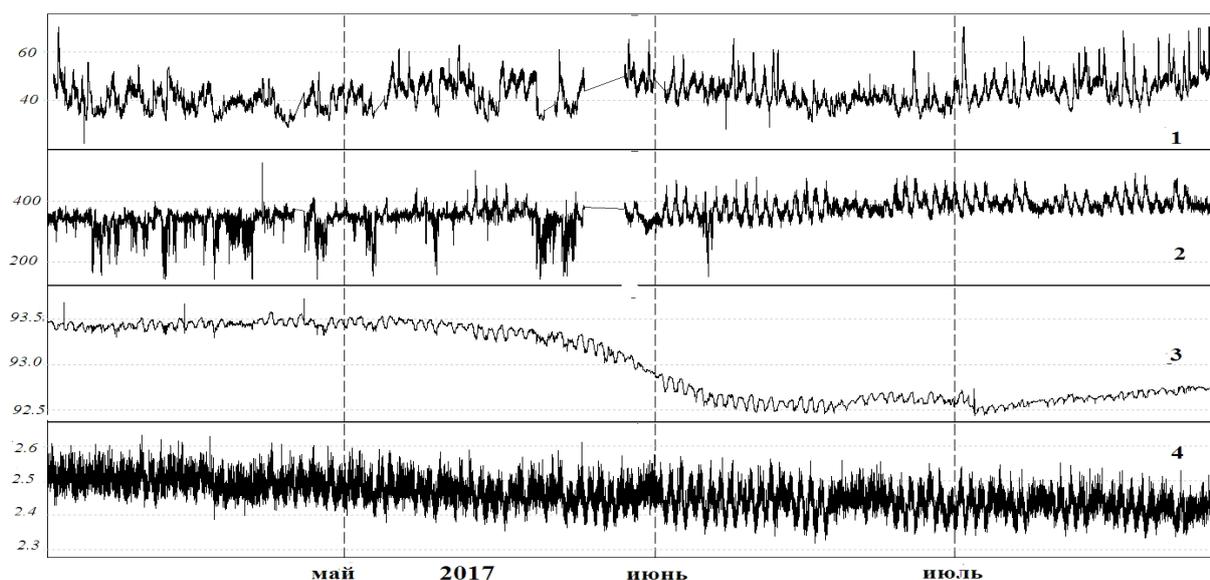


Рис. 2. Графики изменения: концентрации растворенного водорода в 4-х метровой измерительной скважине, в мВ (1); концентрации водорода в скважине ГК-37, в мВ (2); температуры термальной воды на устье скважины ГК-37, в град. С (3); давления в измерительной системе скважины ГК-37, в атм. (4).

Это явление подтверждает вывод, сделанный в [3], где отмечается, что одновременно процессы в природных средах могут характеризоваться множеством ритмов (полиритмичность), находящихся в определенных иерархических соотношениях, при этом в некотором интервале времени может доминировать один из них или группа ритмов. При этом отдельно взятые объемы литосферы характеризуются собственными режимами вариаций состояния системы. В этих наблюдениях также проявляются факторы, указывающие на экзогенную и эндогенную природу воздействий на гидротермальную систему. Экзогенная природа может проявляться в виде сезонного таяния снега, изменения температуры и атмосферного давления в данном районе; эндогенная природа – в виде изменения регионального теплового потока, определяющего температуру и давление в подземной гидросфере Южной Камчатки, с которой Верхне-Паратунская гидротермальная система связана по законам гидродинамики закрытых сред.

Информация скважины ГК-37, расположенной в чувствительной зоне первого порядка, в зоне восходящего теплового потока (термодинамические и газовые параметры), может быть определяющей для понимания эндогенного механизма в объемном деформографе и связанного с ним напряженно-деформационного поля ВП ГТС. Скважина этой зоны пригодна также и для мониторингового опробования по традиционной методике на макрокомпоненты и углеводородные газы.

Мы выделяем также чувствительные зоны второго порядка в наиболее погруженных, как правило, центральных частях крупных грабенов при пересечении их более мелкими разломами. В такой зоне Карымшинского грабена расположены скважины ГК-5, ГК-15 и № 44. В них за весь период наблюдений, начиная с 1992 года, характерным прогностическим признаком являлось резкое увеличение дисперсии изменения концентрации углеводородных газов практически перед всеми крупными сейсмическими событиями, в некоторых случаях наблюдались изменения средних значений концентраций макрокомпонентов. Реакция на Кроноцкое землетрясение (5.12.1997) выражалась в уменьшении за несколько месяцев концентраций хлора и в положительных аномалиях всех углеводородных газов [15, 18]. Такие зоны могут проявляться, по нашему мнению, и при пересечениях крупных разломных зон.

Заключение

В целом, Карымшинский полигон можно представить в качестве своеобразного природного объемного деформографа, реагирующего на разные геотектонические и техногенные воздействия [9], расположенного как в региональной, так и в глобальной гидродинамически связанной подземной гидросфере.

Выделенные чувствительные зоны – первый опыт таких построений в регионе. Они могут служить для определения наиболее перспективных скважин (объектов) при гидрогеохимических исследованиях, как научно-прикладного – выявления предвестников землетрясений, так и фундаментально-научного характера, заключающихся в изучении режимов вариаций параметров состояния литосферы.

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. *Белоусова С.П.* Экструзия сопки Грячей в долине р. Паратунки и ее роль в образовании Верхне-Паратунских термальных источников // Вулканизм и связанные с ним процессы. Выпуск 3. Геотермия, действующие гидротермальные системы и рудообразование. Тезисы докладов VI Всесоюзного вулканологического совещания, Петропавловск-Камчатский, сентябрь 1985 г. Петропавловск-Камчатский, 1985. С. 19–20.
3. *Гамбурцев А.Г.* Человек и земля, окружающие среды // Атлас временных вариаций природных, антропогенных и социальных процессов. Том 4. М.: ООО «Светоч Плюс», 2009. 336 с.
4. 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. 302 с.
5. *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.
6. *Киссин И.Г.* Чувствительные зоны земной коры, амплитуды аномалий предвестников землетрясений // Доклады АН СССР. 1985. Т. 270. С. 574–577.
7. *Киссин И.Г.* Новые данные о «чувствительных зонах» земной коры и формирование предвестников землетрясений и постсейсмических эффектов // Геология и геофизика. 2007. Т. 48. С. 548–565.

8. 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.
9. Кузьмин Ю.Д. Гидротермальная система как газотермодинамический индикатор деформационных процессов в земной коре // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России: Труды III региональной научно-технической конференции. Петропавловск-Камчатский. 9 – 15 октября 2011 г. Обнинск: ГС РАН, 2011. С. 223–227.
10. Кузьмин Ю.Д. Реакция подземной гидросферы на деформационные процессы в литосфере Земли // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России: Труды IV региональной научно-технической конференции. Петропавловск-Камчатский. 29 сентября – 5 октября 2013 г. Обнинск: ГС РАН, 2013. С. 69–73.
11. 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. Петропавловск-Камчатский. 29 сентября – 5 октября 2013 г. Обнинск: ГС РАН, 2013. С. 74–78.
12. Пийп Б.И. Геологические исследования Малкинских, Начикинских, Банных и Паратунских термальных горячих источников на Камчатке. ТГФ Камчатгеолкома, 1935.
13. Руленко О.П., Кузьмин Ю.Д. Увеличение радона и торона в районе Верхне-Паратунской гидротермальной системы Южной Камчатки перед катастрофическим землетрясением в Японии 11 марта 2011 г. // Вулканология и сейсмология. 2015. № 5. С. 36–42.
14. Руленко О.П., Марпулец 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.
15. Рябинин Г.В. Гидрогеохимические предвестники землетрясений в высокосейсмичном регионе: на примере юго-восточной части полуострова Камчатка: диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук: 25.00.03. Москва, 2007. 170 с.
16. 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.
17. 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.
18. Хаткевич Ю.М., Рябинин Г.В. Гидрогеохимические исследования на Камчатке в связи с поиском предвестников землетрясений // Вулканология и сейсмология. 2006. № 4 С. 34–42.