УДК 550.845:52–125:550.348.436

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПОВЕДЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В НАПРЯЖЕННЫХ СРЕДАХ (С ЦЕЛЬЮ ПРОГНОЗА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ)

Поletaев В.А.

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

Введение

За более чем сорокалетний период мониторинговых гидрогеохимических наблюдений установлено, что вариации одинаковых компонентов, в разных пунктах наблюдений перед одним и тем же сейсмическим событием оказываются различными [4, 10]. И последовательность гидрогеохимических эффектов того или иного типа является уникальной для каждой конкретной скважины и поверхностного источника.

Проведёнными в этот период исследованиями выявлено, что землетрясения силой более 5 баллов способны вызывать предвестниковые аномальные вариации по гидрохимической и газохимической составляющим режима подземных вод. Такие предвестниковые аномалии обнаружены на всех наблюдательных скважинах. Основные результаты исследований опубликованы в статьях лаборатории гидросейсмологии [4, 8–12]. В данной работе мы пытаемся количественно (в цифрах) проследить поведение отдельно взятого химического элемента в процессе подготовки землетрясения и после него, увязав, по возможности, с геолого-структурной обстановкой.

Методика исследований

Исследование особенностей поведения химических элементов в геологической, гидрогеологической среде – сложная, многофакторная и объёмная задача. На начальном этапе нами рассчитаны средние фоновые показатели макрокомпонентов водных проб режимных водопроявлений станций (полигонов): Пиначево, Хлебозавод, Морозная и Верхняя Паратунка (табл. 1). В качестве наиболее информативных среднесрочных предвестников сильных землетрясений приводятся показатели гидрохимического опробования водопроявлений станции Пиначево.

Таблица 1

Объект	Глуб. скв., м	pH	НСО ₃ ⁻	Н ₃ ВО ₃	Н ₄ SiO ₄	Сl	Са ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	K ⁺
П и н а ч е в о											
скв.ГК-1	1261	7.58	176.3	89.3	70.0	5870.0	962.0	60.8	76.8	2444.0	54.8
ист. И-1		7.3	121.4	10.6	61.8	143.2	12.8	10.7		90.8	3.36
ист.И-2/1		7.82	263.6	30.5	69.0	367.1	25.6	24.3		231.1	7.4
М о р о з н а я											
скв.М-1	600	8.51	27.3	0.00	21.8	2.1	22.0		65.3	19.0	0.19
Х л е б о з а в о д											
скв.Г-1	2542	9.29	144.0	140.9	2.0	7340.0	68.1	22.5	57.6	4322.0	43.5
В е р х н я я П а р а т у н к а											
скв.ГК-5	900	8.23	45.2	34.6	84.0	122.7	46.5		353.5	216.4	4.17
скв.ГК-15	1208	8.74	24.4	15.9	29.9	72.3	90.2		368.9	132.4	0.73
скв. 44	650	8.0	57.4	10.0	28.2	30.9	32.1		115.3	62.5	1.05

Станцию Пиначево отличают наличие среди объектов газо-гидрохимических мониторинговых наблюдений не только глубокой (1261 м) скважины ГК-1, но и поверхностных Пиначевских источников (в настоящее время И-1 и И-2/1). Район характеризуется мощным комплексом четвертичных рыхлых образований (524 м по скв. ГК-1). Основной приток воды и газа получен в интервале 404–406 м. Нижележащие верхнемиоцен – плиоценовые вулканогенно-осадочные породы андезибазальтового состава, мощностью порядка 690 м, в целом, обладают довольно плохими водопроницаемыми свойствами, полностью зависящими от степени трещиноватости пород. С интервала 611–616 м получен водопиток в три раза меньший комплекса четвертичных отложений. Вулканы неогена могут являться водоупором для нижележащего водоносного горизонта. В интервале 1217–1261 м вскрыт комплекс меловых отложений, представленный расланцованными песчаниками и филлитовидными сланцами. Основной приток

термальных вод расположен в зоне границы неогеновых и верхнемеловых образований в интервале глубин 1140–1261 м [8]. С глубиной, наряду с ухудшением фильтрационных свойств, происходит увеличение минерализации, главным образом за счет хлоридно-натриевой составляющей, повышения концентраций: K^+ , H_3BO_3 , H_4SiO_4 , увеличение температуры воды [14, 15]. Химический состав воды – хлоридный, кальциево-натриевый в скважине и гидрокарбонатно-хлоридный, магниевый-натриевый – источников. Глубина формирования источников не превышает 100–200 м. Вода, выводимая на поверхность скважиной ГК-1, отражает значительно более глубокие условия смешения термальных и холодных вод [8, 10].

Район Пиначевского полигона характеризуется хорошо развитой сетью разрывных нарушений, среди которых определяющую роль имеют разломы северо-западного простирания системы Петропавловского (Авачинского) глубинного разлома [2, 3], а также северо-восточного направления долгоживущей зоны растяжения [7] – своеобразного «термального рифта» [5]. Именно, благодаря разломной тектоники, во многом, достаточно хорошо проявляется «чувствительность» Пиначевского полигона к напряженно-деформационным процессам, как к северо-востоку, так и в юго-восточном направлении.

Выборка землетрясений за период от 1992 до 2018 года ограничена наиболее сильными и информативными, с точки зрения проявленных, имеющих прогнозное значение макрокомпонентов химического состава вод. Положение эпицентров соответствует рисунку 1 статьи Полетаев В.А., Кузьмин Ю.Д., Рябинин Г.В. в этом же сборнике.

Обсуждение результатов

Наблюдения за поведением наиболее информативных элементов в качестве среднесрочных предвестников сильных землетрясений, которыми по данным многолетнего мониторинга (с 1977 г.), являются, прежде всего, Cl^- и Na^+ на Пиначевском полигоне отражены в таблицах 2 и 3.

Хлор (анион хлора Cl^-) – имеет большой размер иона, обладает восстановительными свойствами. Является одним из главных компонентов флюидно-гидротермальных природных систем. Известно 135 минералов, в состав которых входит хлор, главными являются солевые минералы и, прежде всего, галит ($NaCl$). Благодаря высокой растворимости соединений Cl^- в воде (особенно в присутствии углерода), он является одним из главных элементов вод. Хлор легко растворим в воде, его отличает высокая миграционная способность. Отрицательный заряд исключает поглощение коллоидами глинистых и гумусовых образований, поэтому для него не характерны геохимические барьеры [1, 6]. Концентрация Cl^- происходит в глубоких горизонтах подземных вод, имеющих обычно хлоридный состав. При подготовке землетрясений наблюдается снижение концентрации во временных рядах за период до 4–5 месяцев [10]. Снижение концентрации, как видно из табл. 2, более характерно для сильных землетрясений, к юго-востоку от Пиначевского полигона. У расположенных к северо-востоку, может быть как снижение, так и рост концентрации хлора.

Натрий (катион натрия Na^+) наиболее распространенный среди щелочных металлов. Это литофильный элемент, по геохимическим свойствам близок к калию, но обладает более высокими энергетическими и меньшими размерными показателями и щелочностью. Имеет высокую гидролизруемость, растворимость, окислительные потенциалы и восстановительные свойства. Насчитывают 445 минералов Na. Наиболее легко растворимы в воде соляные минералы. По особенностям миграции натрия близок хлору [1]. При анализе поведения натрия в процессе подготовки и после землетрясения он, практически всегда, ведет себя синхронно хлору, отличаясь временем регистрируемого эффекта (табл. 3).

Результаты обработки показывают различие в поведении количественных характеристик элементов. Это обусловлено, главным образом, генетическими особенностями каждого химического компонента подземной гидросферы. С другой стороны, наличие геодинамического процесса, например, преобладающего сжатия, может по-разному отражаться на поведении отдельных составляющих режима в зависимости от условий их происхождения.

Так увеличение концентрации компонента в условиях преобладающего сжатия может происходить за счёт привноса его из пористых блоков в трещинное пространство [9, 11]. В этих же условиях может наблюдаться уменьшение концентрации отдельных компонентов, поступающих в гидротермальную систему с глубинным флюидом, за счёт ухудшения проницаемости флюидопроводящей среды. Такими разнонаправленными динамическими процессами можно связать разное поведение элементов (хлора, натрия) при разном расположении эпицентров землетрясений.

Таблица 2.

№ п/п	№ на карте	Дата землетрясения	M _w	H, км	Пресейсмические			Постсейсмические			Направление
					от	до	Рост Падение Мес.	от	до	Рост Падение Мес.	
А н и о н х л о р а СГ, мг/л											
И с т о ч н и к И-1 (средне-фоновое 143.2)											
1	2	02.03.1992	7.1	20	92.2	119.1	+ 2	154.6	218.0	+ 2.5	СВ
2	3	08.03.1993	7.4	40	100.7	92.2	- 1	90.8	241.1	+ 2	ЮВ
3	4	13.11.1993	7.0	40	241.0	116.3	- 4	143.0	280.8	+ 1.5	ЮВ
4	6	01.01.1996	6.9	10	60.3	76.6	+ 1	90.8	151.8	+ 1	Карымское
5	7	05.12.1997	7.8	10	95.0	89.4	- 1.5	146.8	300.7	+ 1.5	Кроноцкое
6	11	30.01.2016	7.2	180	102.6	109.2	+ 0.5	117.7	296.4	+ 1.5	Жупановское
7	12	06.07.2018	6.1	70	114.9	104.3	- 3	112.0	150.3	+ 1.5	ЮВ
8	13	20.12.2018	7.4	85	150.3	116.8	- 4	117.0	157.4	+ 1.5	Командорское
И с т о ч н и к И-2/1 (средне-фоновое 367.1)											
1	2	02.03.1992	7.1	20	338.6	347.5	+ 0.5	336.9	329.0	- 0.5	СВ
2	7	05.12.1997	7.8	10	393.6	407.8	+ 0.5	411.3	485.8	+ 1.5	Кроноцкое
3	13	20.12.2018	7.4	85	365.2	356.4	- 0.5	359.9	372.0	+ 1.5	Командорское
С к в а ж и н а ГК-1 (средне-фоновое 5870)											
1	2	02.03.1992	7.1	20	5389	5354	- 0.5	5390	5425	+ 1	СВ
2	3	08.03.1993	7.4	40	5532	5674	+ 0.5	5709	5532	- 0.5	ЮВ
3	4	13.11.1993	7.0	40	5744	5603	- 2.5	5603	5957	+ 1.5	ЮВ
4	6	01.01.1996	6.9	10	5886	5780	- 0.5	5786	5957	+ 1	Карымское
5	7	05.12.1997	7.8	10	6028	5957	- 2.5	5957	6170	+ 0.5	Кроноцкое
6	12	06.07.2018	6.1	70	6099	5780	- 0.5	5744	6063	+ 0.5	ЮВ
7	13	20.12.2018	7.4	85	5993	5851	- 1	5957	5709	- 0.5	Командорское

Таблица 3

№ п/п	№ на карте	Дата землетрясения	M _w	H, км	Пресейсмические			Постсейсмические			Направление
					от	до	Рост Падение Мес.	от	до	Рост Падение Мес.	
К а т и о н н а т р и я Na⁺, мг/л											
И с т о ч н и к И-1 (средне-фоновое 90.8)											
1	2	02.03.1992	7.1	20	63.3	82.4	+ 4	86.2	195.5	+ 2	СВ
2	3	08.03.1993	7.4	40	101.2	70.0	- 6	76.8	147.9	+ 1.5	ЮВ
3	4	13.11.1993	7.0	40	147.8	87.9	- 4	98.9	157.8	+ 1	ЮВ
4	6	01.01.1996	6.9	10	44.9	47.2	+ 1	57.5	87.5	+ 1	Карымское
5	7	05.12.1997	7.8	10	66.6	63.4	- 1	99.3	179.9	+ 1	Кроноцкое
6	11	30.01.2016	7.2	180	76.0	82.1	+ 0.5	89.7	212.2	+ 1.5	Жупановское
7	12	06.07.2018	6.1	70	86.1	78.7	- 3	83.5	98.7	+ 1	ЮВ
8	13	20.12.2018	7.4	85	98.7	76.0	- 4	76.5	103.5	+ 0.5	Командорское
И с т о ч н и к И-2/1 (средне-фоновое 231,1)											
1	2	02.03.1992	7.1	20	241.0	243.8	+ 0.5	237.0	315.4	+ 1.5	СВ
2	7	05.12.1997	7.8	10	263.0	276.0	+ 0.5	281.0	313.4	+ 1.5	Кроноцкое
3	13	20.12.2018	7.4	85	239.1	228.2	- 0.5	231.4	266.5	+ 4	Командорское
С к в а ж и н а ГК-1 (средне-фоновое 2444)											
1	2	02.03.1992	7.1	20	2386	2360	- 1	2360	2372	+ 1	СВ
2	3	08.03.1993	7.4	40	2300	2363	+ 1	2394	2331	- 0.5	ЮВ
3	4	13.11.1993	7.0	40	2560	2551	- 1.5	2551	2618	+ 1	ЮВ
4	6	01.01.1996	6.9	10	2614	2582	- 1	2606	2614	+ 1	Карымское
5	11	30.01.2016	7.2	180	2538	2745	+ 1	2632	2546	- 0.5	Жупановское
6	12	06.07.2018	6.1	70	2864	2617	- 0.5	2622	2675	+ 0.5	ЮВ
7	13	20.12.2018	7.4	85	2638	2476	- 1.5	2561	2361	- 0.5	Командорское

Заключение

Особенности поведения химических в напряженных средах при подготовке землетрясений могут объясняться не только их генетическими характеристиками, но и динамическими особенностями, в процессе сжатия – растяжения геологической среды. На концентрацию элементов может оказывать влияние состав вмещающих пород, особенно в условиях повышенных температур в глубинных условиях.

Список литературы

1. Барabanов В.Ф. Геохимия. Л.: Недра, 1985. 423 с.
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. С-Пб.: Карт фабрика ВСЕГЕИ, 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. Копылова Г. Н., Сугробов В. М., Хаткевич Ю. М. Особенности изменения режима источников и гидрогеологических скважин Петропавловского полигона (Камчатка) под влиянием землетрясений // Вулканология и сейсмология. 1994. № 2. С. 53–70.
5. Масуренков Ю.П., Комкова Л.А. Геодинамика и рудообразование в купольно-кольцевой структуре вулканического пояса. М.: Наука, 1978. 274 с.
6. Овчинников А.М. Гидрогеохимия. М.: Недра, 1979. 200 с.
7. Поляк Б.Г., Вакин Е.А., Овчинникова Е.И. Гидрогеотермические условия вулканического района Камчатки (г. Петропавловск-Камчатский). М.: Наука, 1965. 95 с.
8. Рябинин Г.В. Гидрогеохимические предвестники землетрясений в высокосейсмичном регионе: на примере юго-восточной части полуострова Камчатка: диссертация ... кандидата геолого-минералогических наук: 25.00.03 М.: 2007. 170 с.
9. 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.
10. Хаткевич Ю. М. О возможности среднесрочного прогноза землетрясений интенсивностью свыше 5 баллов, проявляющихся в городе Петропавловске-Камчатском // Вулканология и сейсмология. 1994. № 1. С. 63–67.
11. Хаткевич Ю. М., Рябинин Г. В. Синхронность поведения отдельных показателей химического состава воды в режиме наблюдательных скважин, как индикатор изменения геодинамической обстановки // Проблемы сейсмичности Дальнего Востока. Петропавловск-Камчатский, 2000. С. 136–146.
12. Хаткевич Ю. М., Рябинин Г. В. Гидрогеохимические исследования на Камчатке в связи с поиском предвестников землетрясений // Вулканология и сейсмология. 2006. № 4. С. 34–42.