ISSN 2221-3198

ГЕОЛОГИЯ И ЕОФИЗИКА ЮГА РОССИИ

№ 2 / 2018



Геофизический институт Владикавказского научного центра Российской академии наук

Геология Кеофизика Юга России

№ 2 / 2018

Владикавказ 2018

Главный редактор

д.ф.-м.н., проф. В.Б. Заалишвили (ГФИ ВНЦ РАН)

Заместитель главного редактора

д.ф.-м.н., проф. И.А. Керимов (ИФЗ РАН)

Редакционная коллегия

академик РАН В.А. Бабешко (ЮНЦ РАН) академик РАН А.Д. Гвишиани (ГЦ РАН) академик РАН М.Ч. Залиханов (ГУ ВГИ) академик РАН С.А. Федотов (ИФЗ РАН) член-корр. РАН Д.Р. Каплунов (ИПКОН РАН) член-корр. РАН А.В. Николаев (ИФЗ РАН) член-корр. РАН В.А. Снытко (ИИЕТ РАН) Ph. D. И.А. Береснев (Ун-т штата Айова, США) д.г.-м.н., проф. М.Г. Бергер (ГФИ ВНЦ РАН) д.т.н. П.Е. Марченко (КБНЦ РАН) д.т.н., проф. И.Д. Музаев (ГФИ ВНЦ РАН) д.г.-м.н., проф. С.Г. Парада (ЮНЦ РАН) д.г.-м.н., проф. Е.А. Рогожин (ИФЗ РАН) д.ф.-м.н., проф. Ю.К. Чернов (СевКав ГТУ) д.г.-м.н. В.И. Черкашин (ИГ ДНЦ РАН) д.г.-м.н. В.А. Широкова (ИИЕТ РАН)

И.о. ответственного секретаря

М.В. Майсурадзе (ГФИ ВНЦ РАН)

Выпускающий редактор Х.О. Чотчаев (ГФИ ВНЦ РАН)

Высшей аттестационной комиссией (ВАК) журнал включен в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук

> Журнал издается с 2011 года. Периодичность издания -4 номера в год

Учредитель: Владикавказский научный центр РАН Адрес учредителя: 362027, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Маркуса 22 тел. 8 (8672) 501841 e-mail: vncran@yandex.ru http://www.vncran.ru

ISSN 2221-3198

Подписной индекс в Объединенном каталоге «Пресса России» - 29119

При перепечатке материалов ссылка на журнал обязательна.

© Геофизический институт ВНЦ РАН, 2018 © Заалишвили В.Б. (ред.), 2018

Фото на обложке – Санибанский перевал (К.С. Харебов)

СОДЕРЖАНИЕ

Гавришин А.И., Борисова В.Е., Торопова Е.С.
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ШАХТНЫХ ВОД НА ТЕРРИТОРИИ ВОСТОЧНОГО ДОНБАССА
Газеев В.М., Гурбанов А.Г., Кондрашов И.А.
ОСНОВНЫЕ ПОРОДЫ СРЕДНЕЮРСКОГО ЗАДУГОВОГО ДАЙКОВОГО ПОЯСА БОЛЬШОГО КАВКАЗА (ГЕОХИМИЯ, ВОПРОСЫ ПЕТРОГЕНЕЗИСА И ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ ТИПИЗАЦИЯ)16
Кануков А.С., Мельков Д.А.
ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ С ПОДДЕРЖКОЙ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ ОПАСНЫХ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ
Кюль Е.В., Канкулова Л.И.
РОЛЬ ТЕКТОНИКИ В ОБРАЗОВАНИИ МАЛЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ46
Радионов А.А.
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ НАЧАЛА ИЗВЕРЖЕНИЯ ВУЛКАНА ВСЛЕДСТВИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ТРЕЩИНЫ В КРОВЛЕ МАГМАТИЧЕСКОГО ОЧАГА
Стогний В.В., Стогний Г.А.
СЕЙСМОТЕКТОНИКА РАЗРУШИТЕЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КЕРЧЕНСКО-ТАМАНСКОГО РАЙОНА75
ДИСКУССИИ, ОБСУЖДЕНИЯ
Бергер М.Г.
О ПРОТИВОРЕЧИВОСТИ И НЕОБОСНОВАННОСТИ ГЛЯЦИОЛОГИЧЕСКИХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О КАТАСТРОФИЧЕСКОЙ ПУЛЬСАЦИИ ЛЕДНИКА КОЛКА, ЕЕ ПРИЧИНАХ И АНАЛОГАХ
НАШИ ГОСТИ
Саакян Б.В.
СЕЙСМИЧЕСКОЕ ОТРАЖЕНИЕ СЛОЖНЫХ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ОРОГЕНАХ БОЛЬШОГО И МАЛОГО КАВКАЗА91
Свалова В.Б., Заалишвили В.Б., Ганапати Г.П., Николаев А.В. ПРИРОДНЫЕ ОПАСНОСТИ И БЕДСТВИЯ В ГОРНЫХ РАЙОНАХ

CONTENS

Gavrishin A.I., Borisova V.E., Toropova E.S.
DISTRIBUTION OF CHEMICAL COMPOSITION OF MINE WATERS IN THE EASTERN DONBASS
Gazeev V.M., Gurbanov A.G., Kondrashov I.A.
THE BASIC ROCKS OF MIDDLE-JURASSIC BACK-ARC DIKE BELT OF BIG CAUCASUS: GEOCHEMISTRY, THE QUESTIONS OF PETROGENETIC AND GEODYNAMICS TYPIFICATION16
Kanukov S.A., Melkov D.A.
PRACTICAL IMPLEMENTATION OF GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM WITH SUPPORT FOR MODELING THE EFFECTS OF DANGEROUS NATURAL AND MAN-MADE PROCESSES
Kyul E.V., Kankulova L.I.
THE ROLE OF TECTONICS IN THE FORMATION OF SMALL WATER OBJECTS
Radionoff A.A.
MATHEMATICAL MODEL FOR INVESTIGATE THE POSSIBILITY OF A VOLCANOS ERUPTION DUE TO THE FORMATION OF A CRACK IN THE ROOF OF THE MAGMA CHAMBER
Stogny V.V., Stogny G.A.
SEISMOTECTONICS OF THE KERCH-TAMAN REGION DESTRUCTIVE EARTHQUAKES
DISCUSSIONS, DISPUTES
Berger M.G.
ON THE INCONSISTENCY AND GROUNDLESSNESS GLACIOLOGICAL IDEAS ABOUT THE CATASTROPHIC SURGE OF KOLKA GLACIER, ITS CAUSES AND ANALOGUES
OUR GUETS
Sahakyan B.V.
SEISMIC DEELECTION OF COMPLEX GEODVNAMIC DDOCESSES IN

Svalova V.B., Zaalishvili V.B., Ganapathy G.P., Nikolaev A.V.	
THE OROGENES OF THE GREATER AND LESSER CAUCASUS	91
SEISMIC REFLECTION OF COMPLEX GEODYNAMIC PROCESSES IN	

УДК 622.51: 556.3: 550.42 DOI 10.23671/VNC.2018.2.13923

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ШАХТНЫХ ВОД НА ТЕРРИТОРИИ ВОСТОЧНОГО ДОНБАССА

© 2018 А.И. Гавришин, д. г.-м. н., проф., В.Е. Борисова, Е.С. Торопова

ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет имени М.И. Платова», Россия, 346430, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132, e-mail: agavrishin@rambler.ru

Детальное изучение процесса изменения состава шахтных вод выполнено с помощью оригинальной технологии классификации многомерных наблюдений АГАТ-2. Обнаружено четыре главных направления изменения состава вод. После завершения ликвидации угольных шахт резко усилились процессы окисления и образования сульфатных вод первого направления, снизилось образование вод второго направления, полностью отсутствуют воды третьего направления, ослаблено четвертое направление. Происходит формирование мощных потоков загрязнения и возникает необходимость мероприятий по реабилитации окружающей среды в Восточном Донбассе. Выполнен пространственный анализ распределения состава шахтных вод на территории региона.

Ключевые слова: Восточный Донбасс, шахтные воды, химический состав, трансформация.

Введение

Восточный Донбасс является высокоиндустриальным регионом, в котором промышленные предприятия оказывают существенное влияние на состояние окружающей среды. Прежде всего, это предприятия угледобывающего и углеперерабатывающего комплексов. При разработке угольных месторождений возникают такие отрицательные явления, как формирование техногенной трещиноватости горных пород, осушение массивов, появление высокоминерализованных шахтных вод, оседание земной поверхности, образование породных отвалов (терриконов).

В районах действующих угольных шахт образуются мощные депрессионные воронки под влиянием интенсивной откачки шахтных вод. Каждая депрессионная воронка оказывает существенное негативное влияние на экологическое состояние территории, проявляющеесяв исчезновении родников и поверхностных водотоков, в обезвоживании массивов горных пород, прекращении функционирования водозаборов подземных вод и других отрицательных последствиях. Сброс шахтных вод в речную сеть еще более усугубляет экологическую ситуацию. Многие крупные и средние реки Восточного Донбасса (Кундрючья, Лихая, Кадамовка, Каменка и др.) практически утратили водохозяйственное значение и рекреационную ценность. Сократились запасы, ухудшилось качество, возрос дефицит питьевых и технических вод. Такая ситуация характерна для большинства угольных бассейнов: Кемеровского, Печерского, Донецкого (Украина), Карагандинского (Казахстан), Рурского (Германия), Вичитинского (США) и многих десятков угольных бассейнов всего мира [Бобух и др., 2004; Гавришин, 2016, 2018; Закруткин и др., 2014; Мохов, 2011; Appelo. Postma, 2005; Bazhin et al., 2016; Gavrishin, Coradini, 2009; Sachsenhofer et al., 2012; Zakrutkin, Sklyarenko, 2015].

Массовая ликвидация угольных шахт в Восточном Донбассе способствовала усилению многих указанных явлений и добавила обширное подтопление террито-

рий, деформацию горных пород, интенсивное загрязнение природных вод, выделение «мертвого воздуха» и многое другое.

Все эти негативные факторы вызвали многочисленные деформации и разрушение сооружений, производственных и жилых зданий, что потребовало переселения части населения на безопасные территории [Гавришин, 2016, 2018; Закруткин и др., 2014; Мохов, 2011; Gavrishin, Coradini, 2009].

Возникли проблемы в большинстве компонентов окружающей среды: воздушной, водной, биологической, геологической и социальной. Назвав науку об окружающей среде "Энвирология" (envirology, environment – окружающая среда, logos – наука) следует отметить необходимость решения актуальных задач в области атмоэнвирологии, гидроэнвирологии, биоэнвирологии, геоэнвирологии и социоэнвирологии для реабилитации названных компонентов окружающей среды [Гавришин, 2016]. Это потребовало выполнить детальный анализ основных направлений трансформации химического состава шахтных вод после ликвидации угольных шахт.

Методика исследований

Объем современной гидрогеохимической информации создает широкие возможности использования математических методов и компьютерных технологий для обработки первичных данных и надежного обоснования выводов о закономерностях распределения содержаний химических элементов в водах. К настоящему времени имеется уже несколько тысяч работ, в той или иной степени касающихся применения математических методов и ЭВМ в геологии. Среди гидрогеохимических исследований, посвященным вопросам развития и использования математической статистики, можно отметить работы С.П. Абдула, С.А. Брусиловского, Г.А. Вострокнутова, А.И. Гавришина, Г.А. Голевой, В.И. Пелешенко, Н.П. Ромась, М.А. Садикова, С.И. Смирнова и др.

Внедрение математики в гидрогеохимию, по мнению большинства исследователей, следует рассматривать, преимущественно, как применение метода математического моделирования. Любая модель должна обладать двумя главными свойствами: отражательным и гносеологическим. Это означает, что модель, должна быть подобна по части признаков изучаемому объекту и одновременно модель позволяет изучать новые свойства объекта, иначе она перестает быть только моделью.

Анализ информации выполнен с привлечением широкого комплекса математико-статистических методов: интервальная оценка параметров, проверка гипотез, одномерная и многомерная корреляция. Как главный способ анализа гидрогеохимических закономерностей использован оригинальный G-метод классификации многомерных наблюдений (выделения однородных совокупностей – таксонов), основанный на критерии Z-квадрат (Гавришина), детальное описание которого можно найти в ряде публикаций автора [Гавришин, 2016, 2018].

Коротко отметим только главные особенности метода и разработанной на его основе компьютерной технологии AGAT-2. Метод позволяет:

 строить классификации наблюдений в условиях отсутствия априорных сведений о таксономической структуре (задача без учителя);

• задавать различные уровни классификации наблюдений и получать различную детальность таксономических построений (классы, подклассы и т.д.);

 использовать при построении классификации различия между однородными таксонами по средним значениям, изменчивости и по корреляционным связям признаков;

- не вводить ограничения между числом признаков и числом наблюдений;
- использовать зависимые признаки;
- оценивать сходство-различие между однородными таксонами;

• оценивать информативность признаков в полученной таксономической структуре;

• классифицировать новые наблюдения.

G-метод реализован в виде компьютерной технологии AGAT-2, позволяющий автоматически строить классификации многомерных наблюдений различного уровня детальности, и успешно применен для изучения природных и природноантропогенных систем на Земле, Луне, Марсе, кометах, астероидах и в дальнем космосе по астрофизическим, космохимическим, дистанционным, гидрогеологическим, гидрогеохимическим, экогеологическим, геологическим и другим видам данных [Гавришин, 2013].

Сопоставлением, выделенных автоматически на компьютере однородных таксонов, обнаружены и количественно описаны закономерности формирования химического состава шахтных вод региона.

При анализе данных использованы названия типов по классификации О. А. Алекина. В название вод по химическому составу включаются компоненты с содержанием ≥ 25% – моль, которые располагаются в порядке возрастания содержаний.

Результаты исследований и их обсуждение

Для оценки состояния окружающей среды Восточного Донбасса важное значение имеют изменения химического состава шахтных вод, которые многие годы оказывают негативное влияние на состав питьевых вод, на интенсивное загрязнение поверхностных и подземных вод, на общее состояние окружающей среды региона. В районах угольных шахт формируются мощные потоки загрязнения. По этой причине выполнен анализ главных направлений изменения состава шахтных вод перед

Таблица 1.

Показатели	\overline{X}	Me	X _{min}	X _{max}	S
pH	7,5	7,6	3,0	8,1	0,99
HCO ₃	580	500	0	2086	362
SO ₄	1700	1548	585	4915	869
Cl	730	451	142	3122	639
Ca	205	190	49	761	131
Mg	137	121	18	291	61
Na	1035	929	292	2827	526
Fe _{об}	3.6	1.2	0.1	68.0	10.0
Fe ₃	1.5	0.8	0.1	8.0	2.0
М	4390	4061	2254	9621	1565

Химический состав шахтных вод в 1992 году (мг/л)

Примечание: \overline{X} – среднее арифметическое, Me – медиана, X_{min} – минимальное значение, X_{max} – максимальное значение, S – среднее квадратичное (стандартное) отклонение, N –объем выборки, M – минерализация, H – глубина (м).

TC	2
Ταοπιμα	/
raoniųa	4.

Цопров					Ком	понент	гы			Коэффициенты		
паправ-	Вид	ав- Вид	pН	UCO	50	Cl	Ca	Ма	No	м	HCO ₃	<u>100SO</u> ₄
ление			псо ₃	504	CI	Ca	wig	Ina	11/1	Ca+Mg	Cl	
	1 1	70	483	1330	398	127	98	780	2200	0.55	245	
	1.1	/.0	17	59	24	13	18	69	5200	0,33	243	
	1.2	7.2	470	2340	311	292	226	763	4400	0.22	576	
1	1.5	1.2	12	75	13	22	29	49	4400	0,23	570	
1	2.1	5.2	306	2300	200	260	200	690	2015	0.16	820	
	2.1	5.5	8	82	10	22	28	50	3913	0,10	020	
	A 1	2.0	0	4220	213	761	122	1100	6200	0	1567	
	AI	5.0	0	94	6	40	11	49	0300	0	1567	
	1 1	70	483	1330	398	127	98	780	2200	0,55	245	
	1.1	/.0	17	59	24	13	18	69	5200			
2	2 1.4 7.5	7.5	431	1350	582	350	121	576	2200	0,26	160	
2		+ /.3	14	54	32	34	20	46	3300		109	
	1.6	77	538	1588	985	217	150	1110	4700	0.25	120	
	1.0	/./	12	48	40	16	18	66	4/00	0,35	120	
	1 1	70	483	1330	398	127	98	780	2200	0.55	245	
	1.1	/.0	17	59	24	13	18	69	5200	0,33	243	
2	1.2	7.0	411	1420	961	113	1098	4100	2120	0.40	100	
5	1.2	/.9	10	47	43	13	15	72	5120	0,40	109	
		4.2	7.0	976	2197	3100	277	219	2810	0600	0.52	52
	AZ	/.0	11	31	58	9	12	79	9000	0,32	33	
	1 1	70	483	1330	398	127	98	780	2200	0.55	245	
	1.1 7.8	/.0	17	59	24	13	18	69	5200	0,33	243	
4	15	74	1060	1250	350	107	98	918	2800	1 2 2	272	
4	1.5	/.4	33	49	18	10	15	75	3800	1,32	212	
	2.1	7.0	1190	978	2210	131	77	2053	6700	1 46	22	
3.1	3.1	3.1 7.9	19	20	61	7	6	87	87 6700	1,46	33	

Состав гидрогеохимических видов шахтных вод по няправлениям в 1992 году (мг/л и %-моль)

Таблица 3.

Средний химический состав шахтных вод в 1992 г. по гидрогеохимическим направлениям (мг и %-моль)

Направление	pН	HCO ₃	SO ₄	Cl	Ca	Mg	Na	Fe	М
1	6.0	360	2515	266	349	205	730	11 1	4450
1	0,0	9	80	11	26	26	48	11,1	4430
2	76	516	1577	730	290	138	873	2.4	4225
2	7,0	14	53	33	23	18	59	5,4	4233
2	70	487	1489	1396	179	124	1370	1.6	5055
5	/,0	10	40	50	11	13	76	1,0	5055
4	76	1217	1105	885	107	84	1350	1,1	4566
	/,6	29	34	37	8	10	82		

периодом массовой ликвидации угольных шахт в 1992 году и после завершения ликвидации шахт (в 2015 году).

Для определения основных направлений и генезиса изменений химического состава шахтных вод в 1992 году использованы 46 результатов анализа вод. От-

метим, что состав вод в этот период характеризуется относительно высокой изменчивостью (табл. 1), и в среднем это воды хлоридно-сульфатные натриевые второго типа (отдельные пробы – первого и четвертого типов).

С помощью G-метода последовательного классификационного анализа по компьютерной программе АГАТ-2 обнаружены однородные гидрогеохимические виды химического состава шахтных вод (табл. 2). Анализ пространственного распределения наблюдений в координатах: «минерализация – содержания компонентов» позволил уверенно выделить четыре главных геохимических направления изменения химического состава шахтных вод. Геохимические направления получены объединением в квазиоднородные подсемейства гидрогеохимических видов (табл. 3).

Особенности химического состава вод различных геохимических направлений отчетливо фиксируются уже по среднему составу (табл. 3): первое направление – это слабокислые сульфатные магниево-кальциево-натриевые воды, второе – нейтральные хлоридно-сульфатные натриевые, третье – слабощелочные сульфатно-хлоридные натриевые, четвертое – нейтральные гидрокарбонатно-сульфатно-хлоридные натриевые (содовые). Хорошо видно, как от первого к третьему направлению снижается сульфатность и нарастает хлоридность вод, а для четвертого направления характерны высокие содержания гидрокарбонатов.

Все изложенное позволяет сделать надежные выводы о генезисе химического состава шахтных вод четырех выделенных гидрогеохимических направлений. Первое направление связано с преобразованием исходных слабоминерализованных гидрокарбонатно-сульфидных вод в кислые (pH до 2,0) сульфатные воды с высокими содержаниями Fe, Mn, Al, Cu и других металлов и обусловлено интенсивным развитием процессов окисления серы.

Содержание серы в углях (а, часто, и во вмещающих породах) составляет в основном 1,5-6%, в Донецких углях в среднем 3,5%. Обнаруживаются три главные формы сернистых соединений: сульфидная сера (преимущественно пирит и марказит), органическая сера и сульфатная сера. В донецких каменных углях больше всего содержится серы в сульфидной форме (пирит) – до 65% и органической – до 32%. Проникновение кислорода в пиритизированные угли, сланцы и глины приводит к развитию процессов окисления с образованием таких минералов как мелантерит (FeSO₄·7K₂O), кокимбит (Fe₂ (SO₄) $_3$ ·9H₂O), калиевые квасцы (KA1 (SO₄) $_2$ ·12H₂O), ярозит (KFe₃ (OH) $_6$ (SO₄) $_2$), ромбоклаз (FeH (SO₄) $_2$ ·4H₂O) и другие. Эти минералы затем переходят в подземные воды, обогащая их сульфат-ионом, железом, калием, алюминием и другими металлами [Гавришин, 2018; Закруткин и др., 2014; Appelo. Postma, 2005; Bazhin et al., 2016; Gavrishin, Coradini, 2009; Sachsenhofer et al., 2012; Zakrutkin, Sklyarenko, 2015].

Второе геохимическое направление характеризуется переходом гидрокарбонатно-сульфатных вод в хлоридно-сульфатные нейтральные воды, в незначительной степени обогащенные Fe и Mn. Теперь, наряду с процессами окисления серы, приблизительно равную роль начинают играть процессы увеличения концентраций хлор-иона за счет притока хлоридных подземных вод при углублении угольных шахт.

Третье геохимическое направление изменения состава шахтных вод фиксирует преобразования гидрокарбонатно-сульфатных вод в сульфатно-хлоридные. На первое место выходит процесс роста концентрации Cl за счет притока хлоридных подземных вод при отработке глубоких шахтных горизонтов. Рост концентрации

Таблица 4.

Компонент	\overline{X}	Me	X _{min}	X _{max}	S
pН	6,95	7,04	3,67	9,04	0,92
HCO ₃	591	587	6	1244	290
SO_4	2837	2058	607	12084	2178
Cl	347	214	10	1897	333
Ca	293	296	10	556	127
Mg	267	216	6	1581	262
Na	606	518	62	2116	465
М	5238	4516	1624	17496	3171

Химический состав шахтных вод восточного Донбасса в 2015 г. (мг/л)

SO₄ и процесс окисления сульфидов переходит на второе место (кислые воды при этом не образуются).

По четвертому геохимическому направлению изменения химического состава шахтных вод образуются оригинальные содовые гидрокарбонатно-сульфатно-хлоридные и хлоридные натриевые воды с высокими содержаниями HCO₃ и очень низкими Са и Mg. Теперь ведущую роль начинает играть приток содовых подземных вод, которые формируются в результате испарительно-конденсационных процессов в водоуглеродной газовой фазе (обратная геохимической зональности подземных вод региона [Гавришин, 2016, 2018; Gavrishin, Coradini, 2009]). В районе угольных шахт, где образуются содовые воды четвертого направления, наиболее высоки перспективы обнаружения нефтегазовых скоплений, например, в структурах Гуково-Зверевского угленосного района [Гавришин, 2016]. Важно отметить, что в пределах Восточного Донбасса в северной зоне мелкой складчатости уже обнаружены перспективные нефтегазопроявления [Бобух и др., 2004].

Рассмотрим, как трансформировались главные направления изменения химического состава шахтных вод после завершения процесса ликвидации угольных шахт в Восточном Донбассе по состоянию на 2015 год. Состав шахтных вод приведен в таблице 4.

Сравнение химического состава шахтных вод в 1992 и 2015 гг. (табл. 1 и 4) показывает, что произошло значительное изменение состава. Особенно изменились содержания SO₄ (увеличилось в 1,7 раза), Cl (уменьшилось в 2,1 раза), M (увеличилась в 1,2 раза) и неоднородность (вариабельность) распределений этих компонентов. Но особенно наглядно изменение основных направлений состава шахтных вод проявилась по результатам классификации вод по компьютерной программе АГАТ-2. В таблице 5 приведены результаты выделения однородных видов наблюдений в 2015 г.

Сравнение данных таблиц 2 и 5, и особенно 3 и 6 показывает, что произошли существенные изменения в процессах формирования состава шахтных вод до и после ликвидации угольных шахт. По первому направлению наиболее резко увеличились содержания SO_4 (в 1,6 раза) Fe (в 4 раза) и минерализация (в 1,5 раза). По второму направлению содержание SO_4 выросло в 2,3 раза, минерализация в 1,6 раза. Полностью отсутствуют наблюдения в третьем направлении, то есть не происходит формирование сульфатно-хлоридных вод. Это убедительно свидетельствует о том, что после ликвидации угольных шахт резко усилились процессы окисления серы и сульфидов и растворения сульфатов; снизился приток в шахты вод хлоридного

Таблица 5.

				I		(,		
Направ- ление	Вид	pН	HCO3	SO4	Cl	Са	Mg	Na	М
	1.01	7,24	502	637	209	147	85	271	1950
	1.02	7,14	570	1770	275	284	191	418	3500
1	1.05	6,97	505	3390	416	167	239	513	5230
1	2.01	5,64	195	3930	151	373	462	407	5520
	A1	6,10	427	6377	157	271	748	295	9700
	A2	4,45	10	8597	363	421	547	1403	11341
	1.01	7,24	502	637	209	147	85	271	1950
2	1.05	6,97	505	3390	416	167	239	513	5230
	1.03	7,00	776	3170	463	359	274	859	5900
	3.01	6,15	326	5810	1100	441	405	1780	9860
3	A3	7,01	866	4982	1047	481	353	1819	9548
	A4	7,00	103	3841	1897	421	316	2116	8694
	Отсутствует								
	1.01	7,24	502	637	209	147	85	271	1950
4	1.04	7,34	426	1220	211	40	32	476	2400
-	A5	7,33	409	1644	186	30	6	437	2712

Состав однородных гидрогеохимических видов шахтных вод по гидрогеохимическим направлениям в 2015 г (мг/л)

Таблица 6.

Средний химический состав шахтных вод в 2015 году по главным гидрогеохимическим направлениям изменения состава (мг и %-моль)

Направление	pН	HCO ₃	SO ₄	Cl	Ca	Mg	Na	Fe	М
1	6.2	368	4115	203	277	370	1214	12.0	(517
1 6,2	0,2	6,2	87,9	5,9	14,2	31,6	54,2	43,8	0347
2 7,0	7.0	513	3638	855	336	279	1226	2.2	6961
	7,0	8	70	22	16	21	63	3,2	0004
3 -		-	-	-	-	-	-		
	-	-	-	-	-	-	-] -	-
4	7.2	445	1167	202	73	41	695	- 1,1	2623
	7,3	19,6	65,2	15,2	9,7	9,2	81,1		

состава, так как теперь основной поток движения вод направлен из шахт во вмещающие породы.

Все это однозначно указывает на резкое усиление процессов загрязнения подземных вод в Восточном Донбассе и свидетельствует о формировании потоков загрязнения на больших территориях. Пространственное распределение основных направлений изменения химического состава шахтных вод показано на рисунке 1.

На картограмме четко прослеживаются основные закономерности изменения состава шахтных вод Восточного Донбасса. В ходе исследований было опробовано 32 пункта, которые сосредоточены в районах ликвидированных шахт. В пределах интенсивного влияния шахтных вод находятся такие города как Шахты, Новошахтинск, населенные пункты – Лиховской, Шолоховский и ряд более мелких хуторов и поселков (рис. 1).

Наиболее обширные ореолы загрязнения образуют воды первого направления, по которому формируются сульфатные часто кислые минерализованные воды, зна-



Картограмма распределения направлений шахтных вод Восточного Донбасса

Рис. 1. Распределение основных направлений изменения состава шахтных вод на территории Восточного Донбасса.

чительно обогащенные Fe, Mn, Al, Cu и другими металлами. Это свидетельствует о резком усилении процессов окисления серы и сульфидов и растворения сульфатов после ликвидации угольных шахт. Такие воды характерны для большинства шахт региона и наибольшее их количество находится в Шахтинско-Несветаевском углепромышленном районе.

Воды хлоридно-сульфатного состава (второе направление) образуют локальные участки загрязнения. Они распространены в Гуково-Зверевском углепромышленном районе (шахты № 408, Бургуста-Замковая-2), в Шахтинском и Новошахтинском углепромышленных районах (шахты им. Красина, им. Ленина, Юбилейная, Самбековская) и в Шолоховском углепромышленном районе (шахта Тацинская).

Содовые воды (четверное направление) встречены в единичных пунктах опробования. Они наблюдаются в Гуково-Зверевском углепромышленном районе (шахта Антрацит) и в Шахтинском углепромышленном районе (шахты Майская и Глубокая).

Заключение

Анализ основных направлений изменений химического состава шахтных вод на территории Восточного Донбасса показал, что со временем происходит усиление процессов окисления и рост минерализации шахтных вод за счет сульфатов. Детальное изучение закономерностей изменения состава шахтных вод выполнено с помощью цифровой технологии классификации многомерных наблюдений АГАТ-2. Выделено четыре направления изменения состава вод. По первому направлению формируются кислые сульфатные воды за счет процессов интенсивного окисления сульфидов и серы, заключенных в углях и горных породах. По второму направлению образуются хлоридно-сульфатные воды. По третьему направлению обнаружены сульфатно-хлоридные воды, образованные за счет притока в шахты минерализованных хлоридных подземных вод. По четвертому направлению формируются оригинальные содовые воды, которые могут свидетельствовать о наличии в регионе нефтегазовых месторождений. После завершения ликвидации угольных шахт резко усилились процессы окисления и образования сульфатных вод первого направления, снизилось образование вод второго направления, полностью отсутствуют воды третьего направления, слабопроявилось четвертое направление.

По результатам анализа шахтных вод в 32-х пунктах, приуроченных к ликвидированным угольным шахтам Восточного Донбасса, построена картограмма гидрогеохимического районирования, на которой приведено распределение основных направлений изменения состава шахтных вод на территории изученного региона. Большинство пунктов опробования относится к первому направлению, по которому формируются сульфатные кислые минерализованные воды, значительно обогащенные Fe, Mn, Al, Cu и другими металлами, которое обусловлено интенсивным развитием процессов окисления серы и сульфидов и растворения сульфатов. В Шахтинско-Несветаевском углепромышленном регионе находится наибольшее количество таких пунктов. Пункты второго направления (преимущественно хлоридно-сульфатные воды) более или менее равномерно распределены по территории региона; пункты четвертого направления встречены в Гуковском и Шахтинском районах.

Описанные преобразования химического состава шахтных вод произошли в результате изменения направления потока движения вод. В процессе функционирования угольных шахт поток подземных и частично поверхностных вод направлен в выработанное пространство шахт, а потом с шахтным водоотливом на поверхность земли. Во время ликвидации угольных шахт (преимущественно путем затопления) интенсивный поток вод направлен в выработанное пространство шахт. После затопления большинство шахт оказалось в общем потоке подземных вод, что вызвало интенсивное формирование потоков загрязнения. Все это вызывает необходимость проведения эффективных мероприятий по реабилитации окружающей среды в Восточном Донбассе.

Литература

1. Бобух В.А., Чихирин А.А., Тюльдин В.Н. Региональное надвигообразование северных окраин Восточного Донбасса в связи с формированиями залежей УВ // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2004. – № 7. – С. 22-28

2. Гавришин А.И. Состояние окружающей среды в районе угольных шахт Восточного Донбасса // Горный журнал. – 2018. – № 1. – С. 92-96.

3. Гавришин А.И. Анализ информации о природных и антропогенных объектах, явлениях и процессах: учебное пособие. – Новочеркасск: изд. ЮРГПУ (НПИ), 2016. – 139 с.

4. Закруткин В. Е., Скляренко Г. Ю., Гибков Е. В. Особенности химического состава и степень загрязненности подземных вод углепромышленных районов Восточного Донбасса // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. – 2014. – № 4. – С. 73-77.

5. Мохов А.В. О растекании шахтных вод из затопленных угольных шахт в недрах // Доклады Академии наук. – 2011. – Т. 438. № 4. – С. 494-496. 6. Appelo C.A. J., Postma D. Geochemistry, Groundwater and Pollution. Second ed. – Tailor&Francis. – 2005. – 683 p.

7. Bazhin V.Yu., Beloglazov I.I., Feshchenko R.Yu. Deep conversion and metal content of Russian coals // Eurasian Mining. – 2016. – № 2. – Pp. 28-36.

8. Gavrishin A. I., Coradini A. The origin and the formation laws of groundwater and mine water chemistry in the eastern Donets Basin // Water Resources. -2009. - T. 36. No 5. -Pp. 538-547.

9. Sachsenhofer R. F., Privalov V.A., Panova E.A. Basin evolution and coal geology of the Donets Basin (Ukraine, Russia): An overview // International Journal of Coal Geology. – 2012. – Vol. 89. – Pp. 26-40.

10. Zakrutkin V.E., Sklyarenko G.Y. The influence of coal mining on groundwater pollution (Eastern Donbass) // International multidisciplinary Scientific Geo Conference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM 15th. – 2015. – Pp. 927-932.

DISTRIBUTION OF CHEMICAL COMPOSITION OF MINE WATERS IN THE EASTERN DONBASS

© 2018 A.I. Gavrishin, Sc. Doctor (Geol.-Min.), prof., V.E. Borisova, E.S. Toropova

South-Russian State Polytechnical University named Platov, Russia, 346430, Novocherkassk, Prosveschenia Str., 132, e-mail: agavrishin@rambler. ru

A detailed study of the process of transformation of the whole mine water using computer technology classification of multivariate observations AGAT-2. Found the four main directions of changes in the composition of the waters. After completing the Elimination of coal mines have dramatically increased oxidation processes and formation of sulphate waters first destinations, decreased water education second, completely absent of water the third, diminished fourth direction. Is the formation of powerful streams of pollution and there is a need for environmental rehabilitation activities in the region of environment. Completed spatial analysis of distribution of composition of mine waters in the Eastern Donbass.

Keywords: Eastern Donbas, mine water, chemical composition, transformation.

References

1. Bobuh V.A., Chihirin A.A., Tjul'din V.N. Regional'noe nadvigoobrazovanie severnyh okrain Vostochnogo Donbassa v svjazi s formirovanijamizalezhej UV. [Regional thrusting of the northern margins of the Eastern Donbass in connection with the formation of hydrocarbon deposits]. Geologija, geofizika I razrabotka neftjanyh I gazovyh mestorozhdenij. 2004. No. 7. Pp. 22-28. (in Russian)

2. Gavrishin A.I. Sostojanie okruzhajushhej sredy v rajone ugol'nyh shaht Vostochnogo Donbassa. [The state of the environment in the coal mines of the Eastern Donbass]. Gornyjzhurnal. 2018. No. 1. pp. 92-96. (in Russian)

3. Gavrishin A.I. Analiz informacii o prirodnyh I antropogennyh ob#ektah, javlenijah i processah. [Analysis of information on natural and anthropogenic objects, phenomena and

processes]. Uchebnoe posobie, Novocherkassk, izd. JuRGPU (NPI), 2016. 139 p. (in Russian)

4. Zakrutkin V.E., Skljarenko G.Ju., Gibkov E.B. Osobennosti himicheskogo sostava I stepen' zagrjaznennosti podzemnyh vod uglepromyshlennyh rajonov Vostochnogo Donbassa. [On the spreading of mine waters from flooded coal mines in the depths]. Izvestijavuzov. Severo-Kavkazskij region. Serija Estestvennyenauki. 2014. No. 4, Pp. 73-77. (in Russian)

5. Mohov A.V. O rastekanii shahtnyh vod i zzatoplennyh ugol'nyh shaht v nedrah. [Features of the chemical composition and degree of contamination of groundwater in the coal mining areas of the Eastern Donbass]. Doklady Akademii nauk. 2011. Vol. 438. No. 4, Pp. 494-496. (in Russian)

6. Appelo C.A. J., Postma D. Geochemistry, Groundwater and Pollution. Second ed. – Tailor&Francis. – 2005. – 683 p.

7. Bazhin V. Yu., Beloglazov I. I., Feshchenko R. Yu. Deep conversion and metal content of Russian coals // Eurasian Mining. -2016. $-N_{2}$. -Pp. 28-36.

8. Gavrishin A. I., Coradini A. The origin and the formation laws of groundwater and mine water chemistry in the eastern Donets Basin // Water Resources. – 2009. – T. 36. № 5. – Pp. 538-547.

9. Sachsenhofer R.F., Privalov V.A., Panova E.A. Basin evolution and coal geology of the Donets Basin (Ukraine, Russia): An overview // International Journal of Coal Geology. – 2012. – Vol. 89. – P. 26-40.

10. Zakrutkin V. E., Sklyarenko G. Y. The influence of coal mining on groundwater pollution (Eastern Donbass) // International multidisciplinary Scientific Geo Conference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM 15th. – 2015. – Pp. 927-932.

VДК 552.323.5 DOI 10.23671/VNC.2018.2.13925

ОСНОВНЫЕ ПОРОДЫ СРЕДНЕЮРСКОГО ЗАДУГОВОГО ДАЙКОВОГО ПОЯСА БОЛЬШОГО КАВКАЗА (ГЕОХИМИЯ, ВОПРОСЫ ПЕТРОГЕНЕЗИСА И ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ ТИПИЗАЦИЯ)

© 2018 В.М. Газеев^{1, 2}, к. г.-м. н., А.Г. Гурбанов^{1, 2}, к. г.-м. н., И.А. Кондрашов¹

¹ФГБУН Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук, Россия, 119017, г. Москва, Старомонетный пер., 35;

²ФГБУН Федеральный научный центр «Владикавказский научный центр РАН», Россия, 362027, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Маркуса, 22, e-mail: ag. gurbanov@iyandex. ru

Севернее главного надвига Большого Кавказа распространены постскладчатые (постааленские) дайки пород основного состава. Проведено петрографическое и геохимическое изучение этих пород. Приведены результаты их анализа методами *RFA*, *ICP-MS*. Показано, что исходные расплавы образованы при 3-15 процентном плавлении шпинелевого перидотита. Высокое содержание *Al*₂O₃, заметное обогащение *LILe*, *LREE*, *MREE* и негативные аномалии *Ta*, *Nb*, *Zr*, *Hf* позволяют считать их субдукционными образованиями. Повышенные, по сравнению с эталонами субдукционных базальтов, содержания *TiO*₂ характеризуют эти основные по составу породы как образовавшиеся в условиях задугового растяжения, что соответствует их предполагаемой геодинамической позиции.

Ключевые слова: Большой Кавказ, дайковый пояс, субдукционные базальты, петрография; геохимия, геодинамические реконструкции, задуговые структуры растяжения.

Введение

Постскладчатые (постааленские) дайки основного состава, распространенные севернее Главного надвига Большого Кавказа (БК), местами внедрившиеся в краевую часть Бзыбско-Казбекской тектонической зоны, в настоящее время выделяются как «дайковый пояс Большого Кавказа» (ДПБК). Область его распространения находится в высокогорной части Кавказского хребта. Прослеживается он в виде полосы шириной до 20 км от истоков р. Пшехи и верховьев р. Белой на западе, до рек Ахтычай и Усухчай на востоке. Предполагается, что дайковый пояс маркирует собой среднеюрскую задуговую структуру растяжения (рис. 1) и, что он связан с байосским максимумом тектоно-магматической активизации (ТМА). Одним из результатов байосской ТМА является «порфиритовая серия» Закавказья – главная составляющая вулканической, энсиалической островной дуги в этой части субдукционной окраины Тетиса [Ломизе, Суханов, 2006]. На основании изучения современных окраинных морей и их древних аналогов, считается, что растяжение в тылах островных дуг носит кратковременный импульсный характер. Активизация здесь происходит спустя 15-20, а иногда и 40 млн. лет, после начала проявления островодужного вулканизма, который к этому времени затухает. Тыловодужный петрогенезис характеризуется широким спектром магматических пород. В бассейнах с корой океанического типа доминируют базальтоиды, в бассейнах с континентальной ко-



Рис. 1. Вероятная геодинамическая обстановка и положение дайкового пояса БК в пределах среднеюрской (байос-бат) активной континентальной окраины океана Тетис [по Ломизе, Суханов. 2006]



а. Структура диабазо-офитовая (Д 2,9 мм)



б. Структура диабазовая (Д 2,9 мм)



в. Структура порфировая, основная масса микродиабазовая (Д 2,9 мм)



г. Пойкилитовая внутренняя структура моноклинного пироксена (Д 2,9 мм)

Рис. 2. Микрофотографии пород

рой, наряду с породами основного состава широко представлены кислые по составу разновидности. На начальной стадии здесь иногда отмечаются бонинитовые расплавы, которые по мере развития спрединга сменяются толеитовыми базальтами [Абрамович и др., 1997]. Детальные исследования магматизма в типичных задуговых бассейнах показали, что нет специфического типа магм для этой геодинамической обстановки. В целом, базальты задуговых бассейнов имеют тенденцию обладать промежуточными составами между *N-MORB* и островодужными толеитами [Короновский, Демина, 2011; Туркина, 2014].

В этой статье рассматриваются результаты петрографического и геохимического изучения предположительно постскладчатых (постааленских) основных пород, залегающих преимущественно в виде даек в гранитно-метаморфическом цоколе центрального сегмента БК и частично в терригенных отложениях среднеюрского возраста.

Фактический материалы и методы его исследования

Материалом для исследования послужили образцы собранные авторским коллективом в разные годы (1990-2015) из даек основного состава, распространенных в зоне Главного хребта БК, в верховьях рек Азау, Адырсу, Баксан, Кору, Чегем, Черек Безенгийский, Цейдон, Ардон, а на западном Кавказе – в верховьях рр. Мзымты и Кодори. При финансовой поддержке НИР (НИОКТР тема №АААА-А17-117060910044-5) ВНЦ РАН из собранных образцов изготовлены шлифы и проведено их петрографическое изучение. Аналитические исследования выполнены в ЦКП «ИГЕМ – Аналитика»: проведены определения концентраций петрогенных и микроэлементов рентгено-флуоресцентным методом (XRF); рудных, редких и редкоземельных элементов – методом спектроскопии с индукционно-связанной плазмой с масс-спектрометрическим окончанием (ICPMS) на масс-спектрометре X-SeriesII. Использовались методики и условия анализов принятые в ЦКП «ИГЕМ-Аналитика». Точность анализа контролировалась измерениями российских и международных стандартных образцов. Результаты этих исследований приведены в таблицах 1 и 2. На основе результатов аналитических исследований построены классификационные, петрогенетические диаграммы и графики, с помощью которых были расшифрованы условия образования пород дайкового пояса и выявлены их петрохимические и геохимические особенности (характеристики).

Краткая петрографическая характеристика пород дайкового пояса

Среди изученных пород среднеюрского *ДПБК* наиболее распространенными являются две близкие по составу разновидности – это диабазы и диабазовые порфириты.

Диабазы – массивные темно-серые породы со слабым зеленоватым оттенком. Микроструктура диабазовая, диабазо-офитовая (рис. 2). Структурный узор обусловлен наличием удлиненных лейст сдвойникованного плагиоклаза (основной андезин – лабрадор) размером до 0,5-0,1 мм и субизометричных кристаллов моноклинного пироксена (авгит), который совместно с рудными минералами (пирит, титаномагнетит) и хлоритом, расположен в промежутках между лейстами плагиоклаза. Иногда по периферии кристаллов авгита развивается актинолит. Хлорит концен-



Примечание. Поля составов: 1 – коматииты, 2 – коматиитовые базальты, 3-7 – вулканиты толеитовой серии: 3 – высокомагнезиальные и 4 – высокожелезистые базальты, 5 – андезиты, 6 – дациты, 7 – риолиты; 8-11 – вулканиты известково-щелочной серии: 8 – базальты, 9 – андезиты, 10 – дациты, 11 – риолиты.

На диаграмме Na₂O + K₂O - FeOt - MgO (B) - линия раздела между сериями по Т. Ирвайну и В. Барагару.

трируется в мезостазисе и образует гнездообразные скопления. Часто отмечаются карбонат, пренит, апатит.

Диабазовые порфириты – плотные, мелкозернистые, серые либо зеленоватосерые породы с варьирующим количеством вкрапленников плагиоклаза и пироксена. Микроструктура порфировая, гломеропорфировая и пойкилоофитовая, основная масса микродиабазовая, диабазо-офитовая и долеритовая. Плагиоклаз вкрапленников наблюдается в виде кристаллов, размером до 3,0×1,0 мм и их сростков (размером до 7,0×4,0 мм), практически полностью замещенных тонким агрегатом вторичных продуктов, состоящих из альбита, гидрослюды, глинистого минерала, карбоната. Плагиоклаз основной массы представлен лейстами обычно свежего, без вторичных изменений, реже заметно серицитизированного, сдвойникованного андезина-лабрадора. Ромбический пироксен отмечен в одном случае, в виде кристаллов размером 0,6×1,0 мм замещающихся хлоритом, тальком и карбонатом.



Рис. 4. Составы пород на вариационных диаграммах SiO₂ – петрогенные элементы.

Моноклинный пироксен – авгит присутствует в виде крупных субизометричных кристаллов размером до 2,5 мм, которые часто содержат пойкилитовые включения плагиоклаза и в основной массе в промежутках между лейстами плагиоклаза, в виде короткопризматических кристаллов размером до 0,1-0,4 мм совместно с рудным минералом и хлоритом. Часто по авгиту в периферийной зоне развивается актинолит. Иногда промежутки между лейстами плагиоклаза полностью выполнены серпентин – хлоритом. Рудный минерал замещается сфеном. В некоторых образцах развиты вторичные минералы, такие как карбонат, пренит, цоизит, эпидот, кварц.



ж. Диаграммы концентраций несовместимых элементов нормированные к примитивной мантии

Рис. 5. Составы пород на петрогенетических и спайдер диаграммах

Петрохимические и геохимические характеристики пород

На классификационных диаграммах (рис. 3) фигуративные точки составов исследованных образцов ДПБК сгруппированы: в поле базальтов и трахибазальтов $(Na_2O+K_2O) - SiO_2$; частично в поле высокомагнезиальных базальтов толеитовой серии и частично в поле базальтов известково-щелочной серии Al- (Fet+Ti) – Mg; вблизи поля высокомагнезиальных базальтов Zr – TiO₂ (60% анализов). На диаграмме $Na_2O+K_2O - FeOt - MgO$ точки составов сгруппированы (по критериям Т. Ирвайна и В. Барагара) выше границы раздела толеитовой и известково-щелочной серий. Здесь они расположены субпараллельно стороне треугольника FeOt – MgO в поле пород толеитовой серии, для которых характерен Феннеровский тип магматической дифференциации с последовательным увеличением железистости в конечных продуктах. На вариационных диаграммах SiO₂ – петрогенные элементы (рис. 4), точки составов образуют компактные группы (Fe₂O₃, CaO, MnO) либо более широкие ореолы, в которых просматриваются подгруппы, что особенно заметно по распределению таких оксидов как *TiO*₂ и *P*₂*O*₅. Сравнительный анализ составов пород показывает, что петрохимический состав даек удаленных друг от друга на многие десятки и сотни километров, может быть близким, а расположенных в нескольких десятках метров друг от друга может заметно отличаться. По содержаниям (в масс. %): *Al*₂O₃=13,74-19,32; среднее – 16,67, *Al*¹=0,68-1,25 – это умеренно и высоко глиноземистые породы; $TiO_2=1,06-2,57$; среднее – 1,64, выделяются низко- и высокотитанистые разновидности, однако содержание TiO₂ здесь выше, чем в субдукционных базальтах (≤ 1,00%); K₂O – это умеренно и высококалиевые – $K_2O=0,5-2,55$; среднее – 0,96, по MgO=4,14-8,47, среднее – 7,06), Mg#(0,42-0,65) – это умеренно и повышенно магнезиальные образования, сопоставимые с внутриплитными базальтами – Mg# (0,40-0,60); по величине Na_2O/K_2O отношения (1,5-7,0) тип щелочности пород калиево-натриевый (1-4) и натриевый (>4) (табл. 1). Известно, что по геохимическому составу (табл. 2) базальта, используя отношение Ti/V, можно диагностировать тектонические обстановки IAB (островные дуги), MORB, OIB (океанические острова), BABB (задуговые бассейны). В базальтах IAB Ti/V<20; в MORB и континентальных покровных базальтах Ti/ V=20-50, в базальтах OIB, в общем, >50. В породах ДПБК отношение Ti/V варьирует в пределах от 30 до 70. На диаграмме (V – Ti/1000) точки составов пород ДПБК расположены вблизи поля MORB и частично в поле OIB (рис. 5a), на тройной диаграмме $(Zr/4 - Nb \times 2 - Y)$ они попадают в поля N - MORB и E - MORB (рис. 56). На диаграмме (Th/Ta - La/Yb), где показаны деплетированный компонент (DEP), рециклированный компонент слеба (REC) и обогащенный компонент (EN), дающие вклад в образование базальтов (рис. 5в) [Туркина, 2014], точки составов ДПБК сгруппированы вблизи состава примитивной мантии с незначительным смещением к компонентам (EN) и (REC). На аналогичной диаграмме (Nb/Y - Zr/Y), учитывающей распределение только высокозарядных элементов (рис. 5г), точки составов сгруппированы вблизи примитивной мантии с незначительным смещением к (EN). Индикаторные отношения геохимически сходных элементов часто используют для расшифровки геологических процессов. Так, величина Ni/Co отношения в основных породах, находящаяся в интервале 2,5-5,0, является одним из критериев как для первично мантийного генезиса магм, так и для мантийных выплавок. В нашем случае оно варьирует от 1,2 до 5,2, среднее значение 2.9. На модели равно-

Ι.	
Таблица	

(RF) пород среднеюрского дайкового пояса	элементы в г/т)
эзультаты рентгено-флуоресцентного анализа ()	(оксиды в весовых %;

						<u> </u>	<u> </u>						<u> </u>	r						<u> </u>									<u> </u>	1		
205-2/13	46,49	1,13	17,03	9,04	0,131	8,47	9,71	2,63	0,52	0,10	0,05	4,55	99,85	162	157	39	121	56	71	<10	31	232	93	7	75	29	5,05	0,97	0,64	нон:		
205-1/13	47,67	1,12	17,03	8,63	0,128	8,44	9,53	2,31	0,55	0,12	0,03	4,25	99,81	334	157	33	171	59	72	<10	37	215	96	12	66	35	4,2	0,99	0,65	/88 – Ap		
K-48/90	44,87	2,07	16,06	13,05	0,191	5,96	9,04	4,07	0,18	0,34	0,09	3,88	99,80	145	217	45	60	102	66	<10	<10	431	91	~	113	36	22,6	0,84	0,47	0/15. K-51		
K-61/90	45,41	1,95	16,73	12,04	0,176	5,83	9,65	3,47	0,47	0,30	<0,02	3,74	99,77	132	229	39	57	95	90	<10	14	533	113	7	88	36	7,38	0,93	0,48	48/15.50		
K-187/90	50,94	1,25	16,34	11,02	0,162	4,14	8,44	2,92	2,55	0,33	<0,02	1,64	99,73	121	197	30	35	142	111	28	87	436	361	11	142	38	1,14	1,07	0,42	- Пейлон:		
206-2/13	46,84	1,36	16,38	9,70	0,193	7,46	10,71	2,61	1,00	0,14	0,05	3,35	99,79	246	206	37	74	53	102	18	99	254	91	7	91	29	2,61	0,95	0,60	5. 14/15 -		
206-1/13	45,19	2,57	15,57	13,13	0,195	5,81	8,66	3,19	1,77	0,43	0,03	3,27	99,82	55	179	37	53	45	66	<10	45	386	229	11	209	40	1,8	0,82	0,47	1/15. 12/1		
206/13	45,59	2,55	16,10	12,38	0, 191	5,70	7,72	3,29	2,09	0,41	0,03	3,70	99,75	53	199	31	52	47	104	<10	71	501	332	10	211	42	1,57	0,89	0,47	10/15.1		
K-51/88	47,82	1,27	17,57	8,89	0,163	7,25	11,10	2,08	1,32	0,15	<0,02	2,20	99,81	306	213	35	110	71	96	20	<i>L</i> 6	209	94	10	86	25	1,57	1,08	0,61	sv: 8/15.		
50/15	48,01	1,37	16,13	10,21	0,170	8,08	10,88	2,12	1,38	0,13	0,10	1,21	99,79	332	200	44	113	127	91	16	69	188	84	9	84	29	1,53	0,8	0,61	Allbin-d		
48/15	47,11	2,27	13,74	13,25	0,216	6,88	11,74	3,13	0,61	0,25	<0,02	0,61	99,81	216	287	32	61	41	106	<10	20	219	102	6	149	45	5,13	0,68	0,50	-2/13 –	i	
14/15	47,95	1,25	18,75	8,85	0,151	7,08	11,95	2,35	0,35	0,16	<0,02	0,95	99,79	301	182	35	118	49	73	<10	16	278	85	8	85	24	6,71	1,17	0,61	13. 206		3bIMTa.
12/15	47,03	1,06	19,52	7,93	0,146	7,66	12, 31	1,91	0,42	0,14	<0,02	1,68	99,81	382	176	32	162	56	75	<10	24	231	99	~	70	24	4,54	1,25	0,65	206-1/		M - 06
11/15	49,00	2,32	15,56	10,30	0,159	6,57	10,37	3,28	0,61	0,70	0,17	0,66	99,70	179	239	34	106	130	108	38	23	849	108	17	159	30	5,37	0,92	0,55	206/13		0. K-48
10/15	48,09	2,48	14,40	10,61	0,179	7,98	9,88	2,90	1,23	0,59	0,14	1,26	99,74	247	249	37	147	57	92	<10	47	547	154	15	152	32	2,35	0,77	0,59	8 Herer	1 1 1 1	, K-61/9
8/15	46,22	1,08	19,32	8,23	0,163	7,74	11,35	1,95	1,14	0,13	<0,02	2,45	99,77	365	171	30	154	60	69	15	61	245	186	~	70	23	1,71	1,2	0,65	K-44/8		-187/90
K-44/88	46,92	1,20	16,71	8,60	0,135	7,58	8,89	2,54	0,62	0,13	0,05	6,41	99,79	302	172	36	131	59	76	<10	40	291	163	7	110	38	4,09	1,03	0,63	$16 - A_{3aV}$		Баксан: К
3/16	48,98	1,30	17,19	8,88	0,14	6,19	10,91	3,24	0,59	0,15	0,08	2,18	99,83	128	188	29	65	69	74	<10	30	279	102	8	104	30	5,49	1, 14	0,57	ание: 3/]	020	-2/13 -
№ oбp.	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	Ou M	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	S	иии	Сумма	Cr	Α	Co	Ni	Cu	Zn	Pb	Rb	Sr	Ba	Nb	Zr	Y	Na_2O/K_2O	Al^{l}	$Mg^{\#}$	Примеч		205-1/13. 205

€.	
Таблица	

24

Результаты ICP-MS анализа пород среднеюрского дайкового пояса (элементы в г /т)

	205-2/13	22	0,34	26	6215	175	143	985	42	103	22	71	15	28	237	21	62	1,3	0,25	0,25	0,17	6,5	77	3,4	10	1,6
	205-1/13	40	0,75	30	7665	187	347	1171	48	174	45	80	19	41	264	27	92	2,2	<110	0,36	0,28	6,8	112	6,8	18	2,8
Ň	206-2/13	20	0,72	31	7559	215	217	1422	40	63	9,1	95	16	68	253	21	67	3,7	0,18	0,41	0,22	1,2	80	5,1	14	2,1
	206-1/13	16	1,8	23	14053	240	40	1403	38	42	12	98	25	45	391	31	143	13	0,46	0,54	0,27	0,31	237	16	39	5,2
	206/13	17	1,8	24	14289	245	41	1461	38	42	19	103	28	74	507	32	183	13	1,4	0,53	0,39	1,4	356	16	38	5,2
	к-51/88	15	0,61	28	6852	195	280	1214	34	90	48	75	17	101	182	22	22	4,5	O∏>	0,063	0,21	1,2	88	5,3	14	2,0
	50/15	11	0,54	34	7498	229	291	1281	44	66	100	101	16	71	187	22	24	2,7	0,39	0,26	$0,\!20$	1,3	89	4,3	12	2,0
тера проб	48/15	2,8	0,83	37	11181	290	188	1435	35	48	0∐>	100	17	15	211	34	18	6,8	0,12	1,7	0,42	0,40	89	9,9	26	3,8
Hon	14/15	5,3	0,63	25	6920	186	272	1127	35	98	14	76	15	12	283	18	22	4,9	0,51	0,13	0,093	0,51	62	5,8	15	2,2
	12/15	7,9	0,34	24	5940	175	309	1111	35	134	23	69	14	21	231	17	12	4,2	0,062	0,042	0,052	0,68	51	5,0	13	1,9
	11/15	3,3	1,8	19	12865	232	150	1186	32	93	111	102	21	19	880	24	22	20	1,0	0,24	0,46	1,2	120	30	79	11
	10/15	6,1	1,5	24	13847	252	224	1382	35	130	28	219	21	46	563	23	46	19	0,070	0,21	0,26	1,5	141	27	72	10,0
	8/15	16	0,40	24	5773	172	309	1178	35	132	36	63	18	61	252	17	12	3,8	0,24	0,056	0,19	2,7	163	4,6	12	1,8
	к-44/88	19	0,57	22	6389	159	259	932	38	113	48	68	17	36	253	23	90	2,7	<110	0,20	0,16	12	134	5,9	15	2,3
	3/16	5,5	0,81	28	6972	191	125	993	32	54	42	99	16	28	284	21	56	5,0	0,39	0,29	0,29	0,51	65	8,3	21	3,0
	JICMEHTEI	Li	Be	Sc	Τi	Δ	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Ag	Cd	C_S	Ba	La	Ce	Pr

продолжение
\sim
Ταблица

	205-2/13	9,0	3,1	1,2	3,7	0,62	4,2	0,94	2,6	0,39	2,3	0,34	2,0	0,05	0,04	3,7	0[]>	0,49	0,16	43,39
	205-1/13	14	4,4	1,5	4,8	0,84	5,4	1,2	3,3	0,48	2,9	0,43	3,0	0,16	0,35	5,2	<110	1,4	0,29	66,85
	206-2/13	10	3,3	1,3	4,0	0,68	4,4	0,90	2,5	0,33	2,2	0,30	1,8	0,21	0,22	14	0II>	0,32	0,31	51,11
	206-1/13	23	6,2	2,0	6,3	1,1	6,7	1,4	3,7	0,52	3,1	0,46	3,7	0,92	0,06	4,8	<110	1,2	0,42	114,68
	206/13	22	6,1	2,0	6,4	1,1	6,5	1,4	3,8	0,53	3,3	0,47	4,2	0,93	10</td <td>3,3</td> <td><!--10</td--><td>1,3</td><td>0,48</td><td>112,8</td></td>	3,3	10</td <td>1,3</td> <td>0,48</td> <td>112,8</td>	1,3	0,48	112,8
	к-51/88	9,7	3,3	1,1	3,3	0,63	4,1	0,87	2,5	0,34	2,1	0,32	0,9	0,23	<110	18	0,59	0,29	0,11	49,56
	50/15	9,9	3,4	1,3	4,0	0,71	4,6	0,99	2,8	0,40	2,5	0,34	1,2	0,14	1,4	16	0,74	0,30	0,74	49,24
лера проб	48/15	18	5,6	1,8	6,2	1,1	6,9	1,50	4,2	0,59	3,5	0,49	1,1	0,43	10</td <td>8,1</td> <td>0,066</td> <td>0,70</td> <td>0,89</td> <td>89,58</td>	8,1	0,066	0,70	0,89	89,58
Hom	14/15	10	3,2	1,1	3,6	0,60	3,9	0,80	2,2	0,32	1,9	0,26	0,84	0,30	0,52	8,7	0,047	0,41	0,28	50,88
	12/15	8,7	2,7	0,99	3,2	0,54	3,5	0,74	2,1	0,29	1,8	0,26	0,52	0,24	0∐>	6,6	0,076	0,33	0,28	44,72
	11/15	44	9,3	2,5	7,6	1,1	5,4	1,0	2,6	0,34	1,9	0,27	1,3	1,2	1,74	29	2,26	3,8	1,1	196,01
	10/15	41	8,8	2,6	7,6	1,0	5,4	1,0	2,4	0,32	1,8	0,24	1,8	1,1	2,67	9,9	0,19	3,0	0,91	181,16
	8/15	8,5	2,6	0,98	3,0	0,53	3,6	0,74	2,0	0,29	1,7	0,25	0,52	0,23	0,80	17	0,077	0,27	0,092	42,59
	к-44/88	11	3,5	1,1	3,7	0,66	4,3	0,93	2,6	0,38	2,3	0,35	2,6	0,11	011>	5,6	0II>	1,2	0,23	54,02
	3/16	13	3,7	1,2	4,2	0,74	4,5	0,94	2,5	0,35	2,1	0,30	1,9	0,35	0,22	4,8	0,21	1,8	0,56	65,83
		Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Но	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	М	Pb	Bi	Th	U	$\sum REE$

весного плавления гранатового и шпинелевого перидотита (Sm/Yb – La/Sm) точки составов ДПБК сгруппированы вдоль тренда плавления шпинелевого перидотита в диапазоне значений частичных выплавок от 3 до 15% (рис. 5д). На диаграмме концентраций редкоземельных элементов (рис. 5е), нормированных по хондриту [Sun, McDonough, 1989], у большинства образцов спектр REE имеет вид полого наклоненной линии, без европиевой аномалии и со слабым обогащением в области *LREE* и *MREE*. La^{μ}/Sm^{μ} отношение варьирует в пределах от 0,8 до 1,2; Gd^{μ}/Yb^{μ} – от 1,3 до 1,5. La^H/Yb^H отношение, как показатель степени фракционирования REE, в изученных образцах изменяется от 1,2 до 2,0, т. е. они характеризуются низкой степенью фракционирования. Следует отметить, что здесь встречаются единичные образцы с иным спектром распределения *REE* – они более обогащенные *LREE* и *MREE*. Для них La^{H}/Sm^{H} отношение находится в пределах от 1,44 до 2,0; Gd^{H}/Yb^{H} – от 1,6 до 3,5; La^H/Yb^H – от 2,8 до 11,3. Следует отметить, что все спектры занимают промежуточное положение между спектрами эталонов *E-MORB* и *OIB*. Сравнение с другими известными эталонами показало, что спектры *REE ДПБК* близки к спектрам базальтов островных дуг или субдукционных базальтов и базальтов континентальных рифтов [Туркина, 2014]. Сумма REE варьирует от 42 до 196, среднее значение *S REE*=80,8. Концентрации несовместимых элементов, нормированные по примитивной мантии [Sun, McDonough, 1989] в большинстве исследованных образцов ДПБК имеют близкий профиль. В правой части спектра концентрации HFSE и HREE совпадают с N-MORB, E-MORB (puc. 5ж), в левой части отмечается обогащение пород LILe и LREE. Ясно выражены положительные аномалии для K, Rb, U, и негативные аномалии для Zr; Hf, Nb, Ta – элементов не мобильных в процессе низкотемпературных изменений. Отметим также, что в единичных пробах аномалии по Zr; Hf отсутствуют.

Обсуждение результатов

Изученные породы ДПБК представлены авгит содержащими диабазовыми порфиритами и диабазами. Для них характерны: умеренно и высокоглиноземистые, низко и высокотитанистые, умеренно и высококалиевые, умеренно и повышенно магнезиальные разновидности пород с калиево-натриевым и натриевым типом щелочности (Na₂O/ K₂O=1,14-7,38). Если исходить из усредненных показателей, то исходными для наших пород были высокоглиноземистые Al₂O₃=16,67 мас. %), умеренно титанистые ($TiO_2=1,64\%$), умеренно калиевые ($K_2O=0,96$ мас. %), повышенно магнезиальные (MgO=7,06 мас. %) расплавы, которые на диаграммах тяготеют к полям базальтов с характеристиками *N*-*MORB*, *E*-*MORB*, *OIB*. Эти расплавы формировались при 3-15% плавлении шпинелевого перидотита, близкого по составу к субстрату примитивной мантии. Концентрации REE (рис. 5е), нормированые по хондриту, показали, что у большинства образцов их спектр имеет вид полого наклоненной линии без европиевой аномалии, со слабым обогащением в области LREE и *MREE*. La^{*H*}/Sm^{*H*} отношение варьирует в пределах от 0,8 до 1,2; Gd^{H}/Yb^{H} – от 1,3 до 1,5; La[#]/Yb[#] – от 1,2 до 2,0, что свидетельствует о низкой степени фракционирования редких земель в расплаве. Все спектры занимают промежуточное положение между спектрами эталонов *E-MORB* и *OIB*. На спектрах несовместимых элементов, нормированных по примитивной мантии, видно, что концентрации HFSE и HREE аналогичны эталонам N-MORB, E-MORB (рис. 5ж), концентрации LILe, LREE повышены и варьируют от величин характерных для *E-MORB* и до величин характерных для *OIB*. Наблюдаются положительные аномалии в содержаниях *K*, *Rb*, *U* и негативные – для *Zr*, *Hf*, *Nb*, *Ta*.

К субдукционным базальтам обычно относят: толеитовые (*IAB*), известковощелочные базальты островных дуг (*CABI*) и активных континентальных окраин (*CABM*), которые характеризуются широким диапазоном вариаций по кремнекислотности (SiO_2 =45-53 мас%), повышенным содержание Al_2O_3 =16-20 мас. %) и низкими концентрациями TiO_2 (≤ 1 мас. %). Повышенное содержание TiO_2 (до 2-2,5%) характерно для базальтов, образующихся в условиях задугового растяжения [Туркина, 2014]. Напомним, что базальтовые магмы высокоглиноземистого типа (выделены Х. Куно) проявляются в тесном сочетании с андезитовыми, дацитовыми и риолитовыми расплавами и очень редко встречаются изолировано, как в нашем случае. Они необычны по составу и отличаются повышенной щелочностью за счет натрия. По своей щелочности и насыщенности кремнеземом высокоглиноземистые базальты занимают промежуточное положение между толеитовыми и оливиновыми базальтами. Считается, что формирование первичных высокоглиноземистых базальтовых магм может происходить за счет вещества мантии в интервале глубин 60-120 км [Ломизе, 1983].

Наблюдаемые в породах ДПБК на спектрах несовместимых элементов аномалии могут быть объяснены разными процессами. Известно, что в закрытом источнике Ta, Nb переходят в расплав при одинаковой температуре. В открытой плавящейся системе при наличии флюидов температура фракционирования Та в расплав в два раза ниже чем у Nb, что обуславливает значительные вариации отношения *Nb/Ta* в породах сформировавшихся в геодинамических обстановках *AMCB* и *IAB*. В нашем случае этот интервал находится в пределах 14-20 и редко выходит за эти пределы, что указывает на возможность слабого метасоматоза надсубдукционного клина флюидами, обогащенными LiLe, LREE и обедненными Ta, Nb, Zr, Hf [Туркина, 2014]. Аномалии в содержаниях К, Rb, U могут быть связаны с процессом контаминации расплавов коровым материалом. Эксперименты проводившиеся в статическом и динамическом режимах при температуре 1200-1400°C, выявили интенсивную растворимость в толеит-базальтовом расплаве гранитного вещества: полную для калиевого полевого шпата и олигоклаза и частичную (3,3×10⁻⁶ г/см²) для *β*-кварца. Процесс взаимодействия сводится, по существу, к диффузии в жидком состоянии отдельных элементов, как в кислой, так и в основной части системы, в первую очередь щелочей. Селективная контаминация поднимающегося вверх базальтового расплава особенно отчетливо заметна по содержанию в нем K_2O . Предположительно ассимиляция происходит на значительных глубинах, в нижней части коры, где расплав находится в перегретом состоянии под давлением 5-9 кбар, и содержит большое количество флюидной фазы и является весьма реакционно способным [Watson, 1979; Богатиков, Цветков, 1988].

В связи с тем, что по содержанию Mg# диабазы ДПБК сопоставимы с внутриплитными базальтами, к которым относят: базальты океанических островов OIB; океанических плато OPB; континентальных рифтов CRB и платобазальты CPB, отметим следующее: 1) В изученных образцах величина La^{μ}/Lu^{μ} отношения = 1,4-12,0 ниже значений характерных для пород континентальных рифтов (10–100); 2) Негативные аномалии высокозарядных элементов также указывают на существенные различия наших пород и базальтов континентальных рифтов, которые обычно обогащены *Ti*, *P*, *Hf*, *Ta*, *Nb* [Короновский, Демина, 2011]; 3) С другой стороны, ряд признаков говорит о близости петрохимического состава пород ДПБК с синемюрнижнеплинсбахскими диабазами базит-гипербазитового фиагдонского комплекса, которые формировались в бассейне типа *BABB* в надсубдукционных условиях [Газеев и др, 2014]. Однако нормированные концентрации *REE* и несовместимых элементов у них существенно различаются.

Заключение

Авгит содержащие диабазы, распространенные в зоне Главного хребта Большого Кавказа, образовались из высокоглиноземистых, повышенно магнезиальных, умеренно калиевых расплавов, сформированных при плавлении шпинелевого перидотита. Породы обладают характеристиками субдукционных базальтов – они заметно обогащены Al_2O_3 , и в меньшей степени *LILe, LREE, MREE.* Характерные негативные аномалии *Zr, Hf, Nb, Ta* позволяют уверенно отличить их от континентальных рифтогенных базальтов. С другой стороны, повышенные, по сравнению с эталонами субдукционных базальтов, содержания *TiO*₂ характеризуют их как породы, возникшие в условиях задугового растяжения [Туркина, 2014], что соответствует их известной [Ломизе, Суханов 2006] геодинамической позиции.

Работа подготовлена при поддержке гостемы НИР № 0196-2015-0001 и темы **НИОКТР: АААА-А17-117060910044-5** в КНИО ВНЦ РАН и гостемы 67-1 (ФГБУН ИГЕМ РАН).

Литература

1. Абрамович И.И., Залепугин В.Н., Аплонов С.В. и др. Основы геодинамического анализа при геологическом картировании // С. Пб.: ВСЕГЕИ, 1997. – 498 с.

2. Богатиков О.А., Цветков А.А. Магматическая эволюция островных дуг // М.: Наука, 1988. – 241 с.

3. Газеев В.М., Гурбанов А.Г., Гольцман Ю.В. и др. Фиагдонский эффузивно-силловый комплекс (Республика Северная Осетия-Алания, Россия): геохимия, геодинамическая обстановка формирования, проблемы рудоносности // Вестник Владикавказского научного центра РАН. – 2014. – Том 14. № 2. – С. 21-34.

4. Короновский Н.В., Демина Л.И. Магматизм как индикатор геодинамических обстановок // М.: Изд. КДУ, 2011. – 209 с.

5. Ломизе М.Г., Суханов М.К. Дайковый пояс Большого Кавказа: среднеюрская задуговая структура // Бюл. Моск. о-ва испытателей природы. Отд. Геол. – 2006. – Т. 81. Вып. 6. – С. 9-15.

6. Ломизе М.Г. Тектонические обстановки геосинклинального вулканизма // М.: Недра, 1983. – 186 с.

7. Туркина О.М. Лекции по геохимии магматического и метаморфического процессов // Новосибирск: РИЦ НГУ, 2014. – 118 с.

8. Sun S. S., McDonough W. F. Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts // Geol. Spec. Publ. – 1989. – № 42. – Pp. 313-345.

9. Watson E.B. Basalt contamination by continental crust: some experiment and models // Contrib. to Miner. and Petrol. – 1982. – Vol. 80. № 1. – Pp. 73-87.

THE BASIC ROCKS OF MIDDLE-JURASSIC BACK-ARC DIKE BELT OF BIG CAUCASUS: GEOCHEMISTRY, THE QUESTIONS OF PETROGENETIC AND GEODYNAMICS TYPIFICATION

© 2018 V.M. Gazeev^{1, 2}, Sc. Candidate (Geol.-Min.), A.G. Gurbanov^{1, 2}, Sc. Candidate (Geol.-Min.), I.A. Kondrashov¹

¹Institute of geology of ore deposits, petrography, mineralogy and geochemistry RAS, Russia, 119017, Moscow, Staromonetry Lane, 35;

²Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Russia, 362027, RNO-Alania, Vladikavkaz, Markusa Str., 22, e-mail: ag. gurbanov@iyandex. ru

To the north from the Main thrust of Big Caucasus the post-folding (post-aalean) dikes of basic in composition are distributed. Petrographic and geochemic investigation of these rocks have been done. The results of its analysis by *RFA* and *ICP MS* methods are given in this paper. It is shown, that initial melts are generated on melting of 3-15% of spinel peridotite. High concentration AI_2O_3 , a pronounced enrich by *LILe*, *LREE*, *MREE* and a negative anomalies of *Ta*, *Nb*, *Zr*, *Hf* are allowed to think of their as a subduction formation. Righ, in comparison with a standards of subductional basalts, content of *TiO*₂ are characterized of this basic in composition rocks, as a generated in condition of back-arc tension, that correspond to their assumed geodynamic position.

Keywords: Big Caucasus, dike belt, subductional basalts, petrography, geochemistry, geodynamic reconstruction, back-arc structure of tension.

References

1. Abramovich I.I., Zalepugin V.N., Aplonov S.V. i dr. Osnovy geodinamicheskogo analiza pri geologicheskom kartirovanii. [Fundamentals of geodynamic analysis in geological mapping]. S.Pb. VSEGEI, 1997. 498 p. (in Russian)

2. Bogatikov O.A., Cvetkov A.A. Magmaticheskaja jevoljucija ostrovnyh dug. [Magmatic evolution of island arcs]. M. Nauka, 1988. 241 p. (in Russian)

3. Gazeev V.M., Gurbanov A.G., Gol'cman Ju.V. i dr. Fiagdonskij jeffuzivno-sillovyj kompleks (Respublika Severnaja Osetija-Alanija, Rossija): geohimija, geodinamicheskaja obstanovka formirovanija, problemy rudonosnosti. [Fiagdon effusive-syllable complex (Republic of North Ossetia-Alania, Russia): geochemistry, geodynamic conditions of formation, problems of ore content]. Vestnik Vladikavkazskogo nauchnogo centra RAN. 2014. Vol. 14. No.2. Pp. 21–34. (in Russian)

4. Koronovskij N.V., Demina L.I. Magmatizm kak indikator geodinamicheskih obstanovok. [Magmatism as an indicator of geodynamic environments]. M. Izd. KDU, 2011. 209 p. (in Russian)

5. Lomize M. G., Suhanov M.K. Dajkovyj pojas Bol'shogo Kavkaza: srednejurskaja zadugovaja struktura. [Dike belt of the Greater Caucasus: Middle Jurassic back-arc structure]. Bjul. Mosk. o-va ispytatelej prirody. Otd. Geol. 2006, Vol. 81, Issue 6, Pp. 9–15. (in Russian)

6. Lomize M.G. Tektonicheskie obstanovki geosinklinal'nogo vulkanizma. [Tectonic environments of geosynclinal volcanism]. M. Nedra, 1983, 186 p. (in Russian)

7. Turkina O.M. Lekcii po geohimii magmaticheskogo i metamorficheskogo processov. [Lectures on the geochemistry of magmatic and metamorphic processes]. Novosibirsk, RIC NGU, 2014, 118 p. (in Russian)

8. Sun S.S., McDonough W.F. Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts // Geol. Spec. Publ. – 1989. – №42. – Pp. 313–345.

9. Watson E.B. Basalt contamination by continental crust: some experiment and models // Contrib. to Miner. and Petrol. – 1982. – Vol. 80. №1. – Pp. 73–87.

VДК 550.34, 002.6 DOI 10.23671/VNC.2018.2.14354

ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ С ПОДДЕРЖКОЙ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ ОПАСНЫХ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

© 2018 А.С. Кануков, к. т.н., Д.А. Мельков, к. т.н.

Геофизический институт – филиал ФГБУН ФНЦ «Владикавказский научный центр Российской академии наук», Россия, 362002, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Маркова, 93a, e-mail: cgi_ras@mail. ru

На основе современных технологий разработана структурно-функциональная модель «Информационная система обеспечения градостроительной деятельности». Данная модель использована в качестве основы для создания моделирующей геоинформационной системы. При этом в виде отдельного структурного элемента в систему интегрирована информационная база данных о сейсмичности и сейсмических рисках, включающая в себя карты детального сейсмического районирования (ДСР) Республики Северная Осетия-Алания и карты сейсмического микрорайонирования территории населенных пунктов – административных центров Республики Северная Осетия-Алания.

Рассмотрены методы оценки возможных социальных и экономических потерь от возможных землетрясений различной интенсивности и разработана методика оценки сейсмического риска. На их основе, предложен алгоритм «внедрения» (введения) методики оценки сейсмического риска в информационные системы обеспечения градостроительной деятельности. Использование разработанной методики оценки сейсмического риска территории позволяет непосредственно рассчитать рейтинг грунтов и сейсмический риск территории.

На территории г. Владикавказа выделены участки с различными грунтовыми условиями. На основе имеющихся данных создан ГИС-проект «База данных геологической информации территории г. Владикавказа», включающий информацию о пробуренных на территории города скважинах и составе соответствующих грунтов. Данная база интегрирована во вновь разработанную систему, что позволяет использовать её в качестве одного из основных источников информации в задачах моделирования ожидаемых последствий опасных природно-техногенных процессов.

Ключевые слова: сейсмичность, микрорайонирование, сейсмический риск, информационная система, геоинформационная система, ГИС-проект, база данных, геоинформационное моделирование, вебсервис, кадастровая система.

Геоинформационное моделирование до настоящего времени остается всё ещё сравнительно молодой областью научных исследований, которая в то же время охватывает обширный круг вопросов по созданию и использованию геоинформационных систем (ГИС-систем), о представленных в них данных и объектах, а также о применении математических методов и алгоритмов в данных системах. ГИС – системы включают в себя СУБД (системы управления базами данных), редакторы графики представленных в векторном или растровом формате, различные аналитические средства, что позволяет использовать их в картографии, геологии, геофизике, экологии и множестве других областей.

В современном мире существуют обширные возможности по получению огромного количества информации о различных объектах, которые нередко можно

обработать только лишь с применением современных компьютерных технологий. В связи с тем, что элементы геотехнологического комплекса имеют пространственную характеристику, то необходима разработка не просто информационного, а геоинформационного обеспечения. При этом геоинформационные технологии и методы стали одним из основных инструментов при проведении экологических исследований, в оценке и мониторинге состояния природной среды и ресурсов [Дзеранов и др., 2017]. Разработка и реализация новых методов моделирования геологических объектов, перемещения или распространения того или иного геофизического процесса, представляющих важную задачу установления взаимосвязей и корреляции пространственных распределений различных физических полей. К примеру, одной из подобных задач, решаемых с помощью ГИС-систем, является задача прогнозирования возможных последствий землетрясений в основе которой, лежит методика учёта многочисленных объективных и субъективных факторов, формирующих уровень сейсмического риска урбанизированных территорий.

В качестве основы функционирования геоинформационной системы моделирования опасных природно-техногенных процессов представляется использование принципов, используемых в информационных системах обеспечения градостроительной деятельности (ИСОГД). Согласно градостроительному кодексу РФ ИСОГД представляют собой систематизированный свод документированных сведений о развитии территорий, об их застройке, о земельных участках, об объектах капитального строительства и иных необходимых для осуществления градостроительной деятельности сведений [Градостроительный кодекс, 2005].

В широком понимании ИСОГД представляет собой метасистему (систему систем) [Мамышева, Загоруйко, 2010], которая обеспечивает информационную поддержку множества разнообразных процессов жизнеобеспечения и развития города. Такая комплексная система включает в себя несколько классов программного обеспечения:

- ГИС (географическая информационная система),
- СЭД (система электронного документооборота),
- СУБД (система управления базами данных),

• ЭАР (система управления электронными административными регламентами),

• СКК (система классификации и кодирования информации), веб-портал,

• Доступ к СМЭВ (система межведомственного электронного взаимодействия).

Целью введения информационных систем обеспечения градостроительной деятельности является обеспечение органов государственной власти, органов местного самоуправления, физических и юридических лиц достоверными детальными сведениями, необходимыми для осуществления градостроительной, инвестиционной и иной хозяйственной деятельности, проведения землеустройства.

Особое место, при этом, занимают сведения о сейсмической опасности территории, которые являются основополагающими при строительстве в сейсмически опасных районах.

Сейсмологические исследования для различных целей, в т.ч. для задач строительной отрасли выполняются в нашей стране уже свыше столетия. Одним из результатов таких исследований является оценка сейсмической опасности территории, которая традиционно сводится к вычислению максимально возможных сейсмических воздействий, которые необходимо учитывать при строительстве в сейсмических районах. Сейсмическая опасность при этом специально отображается на картах т. н. сейсмического районирования той или иной территории. В России, в зависимости от задач и необходимой детальности картирования сейсмической опасности, реализуют три уровня сейсмического районирования:

1. общее сейсмическое районирование (ОСР) – для всей территории страны;

2. детальное сейсмическое районирование (ДСР) – для ограниченных площадей и отдельных регионов;

3. сейсмическое микрорайонирование (СМР) – для городов, населенных пунктов и больших строительных площадок.

В результате ряда исследований по оценке сейсмической опасности, проведенных сотрудниками Геофизического института в 2006-2013 гг., были созданы оригинальные вероятностные карты детального сейсмического районирования (ДСР) Республики Северная Осетия-Алания [Заалишвили и др., 2008; Заалишвили, Дзеранов, 2010], карты сейсмического микрорайонирования территорий (СМР) населенных пунктов – административных центров РСО-Алания [Заалишвили и др., 2010, 2011а – в; Заалишвили, Рогожин, 2011; Заалишвили, Джгамадзе, 2011, 2012; Заалишвили, 2013]. Необходимо отметить, что картографические материалы должны соответствовать мировому уровню, предъявляемому в настоящее время к пространственным данным и обладать, в первую очередь, возможностью непосредственного включения в любые современные информационные системы.

В процессе проведения исследований были рассмотрены существующие автоматизированные системы обеспечения градостроительной деятельности, кадастровая система, а также другие информационные ресурсы. В результате проведённых исследований нами была разработана структурно-функциональная модель ИСОГД (рис. 1), позволяющая создавать информационную систему для нужд пользователя, при сохранении совместимости с другими продуктами, построенными согласно данной модели, а также ряда уже существующих систем. Именно данная модель легла в основу разрабатываемой моделирующей геоинформационной системы.

Для разработки веб-сервиса была выбрана спецификация Web Map Service (WMS). Протокол WMS, являющийся стандартом Открытого геопространственного консорциума – Open Geospatial Consortium (OGC) и поддерживаемым большинством приложений. Необходимо отметить, что на основе спецификаций OGC создается большая часть специального программного обеспечения для разработки картографических веб-сервисов в сети Интернет. В качестве такой основы был выбран Geoserver, как продукт, который удовлетворяет всем необходимым требованиям, а также совместимостью с веб-ресурсом единой информационной системы «Сейсмобезопасность России».

В качестве платформы для создаваемого программного комплекса был выбран сервер, работающий под управлением свободно распространяемой операционной системы Ubuntu Server 16.04.

Нами был разработан веб-интерфейс доступа и визуализации данных сервиса (на основе OpenLayers), обладающий необходимым функционалом для просмотра вероятностных карт сейсмической опасности территории РСО-А и карт сейсмического микрорайонирования.

При попадании на главную страницу необходимо пройти авторизацию для получения доступа к данным. Авторизация является двухуровневой, но происхо-

дит прозрачно для пользователя. То есть необходимо ввести только свой логин/пароль, далее система сама проведёт авторизацию не только на веб-сервисе, но и на Geoserver'e.



Рис. 1. Разработанная структурно – функциональная модель ИСОГД

Далее загружается карта сейсмического микрорайонирования территории города Владикавказа (рис. 2а). На данной странице реализован поиск объекта по адресу, с выделением соответствующего участка карты (рис. 2б).

Используя кнопки для навигации по карте, можно удалять и приближать объекты, а также перемещаться по ней, при этом в левом нижнем углу всегда будет находиться масштабная линейка, масштаб которой зависит от степени приближения к карте. Путём использования переключателей видимости слоёв в области управления отображением карты можно просматривать только интересующую пользователя информацию, например информацию о кадастре (рис. 2в).

К каждому объекту на карте можно привязать любую информацию, в виде файла или атрибутивной информации. Как пример – включение в информационную систему базы данных сейсмического риска застройки города Владикавказа (рис. 2г). Аналогично представлена карта детального сейсмического районирования территории Республики Северная Осетия-Алания, с соответствующими возможностями. Кроме того, осуществляется включение в систему данных об экономической обстановке в Республике [Алборов и др., 2017а, б; Бурдзиева и др., 2017; Алборов, Бурдзиева, 2017а, б;].

Для отображения данных разработаны соответствующие SLD-стили [Styled Layer Descriptor..., 2007]. С помощью PostGis реализована функция поиска объектов по адресу. При разработке также использованы другие новые технологии, такие как web 2.0, AJAX и др.



Рис. 2. а) Главная страница веб-сервиса с картой г. Владикавказа; б) Реализация функции поиска объекта по адресу; в) Вывод кадастровой информации; г) База данных сейсмического риска застройки

В процессе исследования рассмотрены вопросы обеспечения безопасности и разработана соответствующая система предоставления информации и разграничения прав доступа пользователей системы. Применение шифрованного протокола HTTPS позволяет свести к минимуму возможность несанкционированного доступа к данным. Использование ассиметричного алгоритма шифрования RSA с длиной ключа 256 бит делает нецелесообразным метод взлома путём прямого подбора ключа [Кануков, 2017б]. Применение подписанного сертификата позволяет использовать максимальную степень защищённости канала передачи данных, делая чрезвычайно сложной процедуру взлома.

Для прогнозирования возможных последствий землетрясений или других катастроф требуется детальное изучение урбанизированных территорий. В конце XX столетия в России были разработаны методы оценки сейсмического риска уже существующих зданий и сооружений [Архиреева и др., 2017а]. Эти программы учитывали многочисленные объективные и субъективные факторы, влияющие на уровень сейсмического риска урбанизированных территорий.

Одна из методик была разработана проф. С.Ю. Баласаняном в 1991 году [Баласанян, 2004]. После восьми лет успешных работ, стратегия была одобрена в 1999 году Правительством Армении, как государственная программа. Согласно этой методике, наибольший вклад в масштаб возможных потерь, в случае сильного землетрясения, вносят следующие составляющие:

- Сейсмическая опасность территории;
- Население и его плотность в зонах высокой сейсмической опасности;

• Область зон, содержащих здания и сооружения, которые имеют низкую сейсмостойкость по сравнению с уровнем сейсмической опасности.

Определение риска сейсмических потерь (RSL) рассчитывалась по формуле

$$RSL = KR * KS * KP \tag{1}$$

где KR – рейтинг риска, учитывающий интенсивность сейсмического воздействия.

KS – рейтинг уязвимости зданий, расположенных в пределах изучаемого участка.

КР – коэффициент уязвимости людей, находящихся внутри или около исследуемых объектов.

Другой методикой прогноза представляется разработка рейтинговой оценки грунтовых условий и сейсмического риска территории. Создание рейтинговой оценки инженерно-геологических, гидрогеологических, геоморфологических и других особенностей грунтовых условий впервые было проведено для г. Владикавказа. Объектом исследования, был выбран достаточно большой район города – улица Куйбышева и прилегающие к ней кварталы.

Принимая во внимание грунтовые условия, и опираясь на метод экспертных оценок [Гогмачадзе и др., 2003], был определен рейтинг сейсмической уязвимости всех шести кварталов.

Согласно разработанному подходу [Заалишвили и др., 2006] совокупность грунтовых условий разделена на несколько уровней сейсмической уязвимости. Для данного случая использовалось три таких уровня. Каждому уровню соответствуют значения опасных факторов, формирующих сейсмическую уязвимость (табл. 1). В основе такой классификации лежит опыт прошлых землетрясений. Другими словами использовалась, как отмечалось выше, так называемая экспертная оценка. Далее каждому значению фактора присваивался ее весовой рейтинг, также устанавливаемый из прошлого опыта.

Каждый фактор оценивался по трехбалльной шкале, где 1 – соответствует наименьшему влиянию данного фактора на ухудшение рейтингового статуса участка, а 3 – наибольшему (табл. 2). Наиболее худшие грунты являются грунтами оснований первого и второго кварталов.

Для расчета рейтинга уязвимости использовалось следующее соотношение:

$$W_{y} = W x D \tag{2}$$

Сейсмическая опасность территории, рассматриваемая здесь, является опасностью оцениваемой уровнем СМР (сейсмическое микрорайонирование), определяющим формирование расчетной интенсивности или проявления землетрясения [Заалишвили, 2000]. Другими словами, чем хуже грунтовые условия оснований застройки, тем выше сейсмический риск. Таким образом, вполне отчетливо прослеживается связь между грунтовыми условиями и проявлением сейсмической опасности. Также учитывался непосредственно класс уязвимости застройки [Архиреева и др., 2017б].

При сейсмическом воздействии 7 баллов шкалы MSK-64 рейтинг сейсмического риска составил:

- Becha RSL = 0,875
- Балкинский проезд-улица Пионеров RSL = 0,35
Таблица 1.

	Наименование фак-	Ед. измере-	Сейсмич	Весовой		
	торов	ШИЛ	1	2	3	рейтинг, W
	Сейсмичность терри-	MSK-64,				
ЭК-ЭК-ВИЯ	тории	балл	7	8	9	3
е и сло	Пространственное					
Hbi by c CTK	распределение (плот-					
eH) Hbl6	ность) разломов	км\км	< 0,01	0,01-0,05	> 0,05	1,5
дог Сени					сильное	
Эң зог	Активные геологиче-		отсутству-	среднего	проявле-	
	ские процессы	-	ЮТ	уровня	ние	2
Я	Плотность грунтов	ρ, т/м ³	1,9-2,1	1,7-1,9	1,4-1,7	0,5
ови	Скорость распростра-					
СЛС	нения поперечных					
e y	волн в грунтах	Vs, м/с	>800	400-800	80-400	3
Bbl	Уровень грунтовых					
HTC	вод	hугв, м	> 10	5-10	< 5	3
py	Угол наклона (ре-					
I	льеф)	градус	< 50	5-150	> 150	0,5

Рейтинговые показатели особенностей грунтов на территории г. Владикавказа

Таблица 2.

Рейтинговая оценка грунтов на территории г. Владикавказа

№ фактора	Весовой	Сейсмическая уязвимость, D							
	рейтинг,	1	2	3	4	5	6		
	W	квартал	квартал	квартал	квартал	квартал	квартал		
1	3,0	3	3	1	1	1	1		
2	1,5	2	2	2	2	2	2		
3	3,0	3	3	2	2	1	1		
4	1,5	3	2	2	1	1	1		
5	2,0	3	1	1	1	1	1		
6	0,5	2	2	2	1	1	1		
Максимальный рейтинг	34.5	32.5	27	19	16	12	12		
уязвимости, Wy, max	54,5	52,5	21	10	10	15	15		
Относительный рейтинг									
уязвимости,	1	0,94	0,78	0,52	0,46	0,37	0,37		
Wy/ Wy, max									

- Улица Пионеров-улица Лермонтовская RSL = 1,038
- Улица Лермонтовская-улица Фрунзе RSL = 0,43
- Улица Фрунзе-улица Ленина RSL = 0,92
- Улица Ленина-река Терек RSL = 0,95

Кроме того, необходимым представляется учёт возможно экономического ущерба в информационных системах обеспечения градостроительной деятельности. Полный экономический ущерб L вычисляется как сумма отдельных видов ущерба для всех зон различной балльности.

$$L_i = \sum_{j=1}^J S_{ij} \times V_{ij} \times C_{ij}$$
(3)

где: S_{ij} – плотность застройки типа j в зоне с интенсивностью i;

V_{ii} – средняя уязвимость отдельного объекта;

С_{ії}- средняя стоимость отдельного объекта.

Для установления полного экономического ущерба, мы должны дополнительно учесть потери вследствие повреждения и (или) разрушения городской инфраструктуры, а также социальный урон.

По экспертной оценке дополнительный ущерб при землетрясении 7 баллов увеличится на 20%, а для восьми баллов на 40%.

На территории города выделены участки с различными грунтовыми условиями (глубина залегания галечников, мощность перекрывающих их глинистых грунтов, количество песчано-глинистого заполнителя в галечниках, консистенция, пористость глин и суглинков, их обводненность, рельеф). С целью интеграции в разработанную геоинформационную систему базы данных геологической информации, на основе анализа физико-механических свойств грунтов была проведена дифференциация различных групп грунтов по показателям, характеризующим категории грунтов по их сейсмическим свойства.

Целью работ по составлению карт инженерно-геологического районирования г. Владикавказа являлось составление общего представления о литологическом и геологическом строении изучаемой территории и установление общей гидрогеологической характеристики района [Гогичев, Дзеранов, 2017], а также отбор разведочных выработок, соответствующих по своим параметрам (местоположение, глубина, вскрытый разрез, наличие лабораторного опробования) целям и задачам сейсмического микрорайонирования для их последующего использования при построении карт и разрезов.

В результате решения этих и других задач был создан ГИС-проект «База данных геологической информации территории г. Владикавказа».

При этом топографическая основа в виде контуров кварталов, улиц, основных контуров реки Терек и техногенной нагрузки была получена с существующих тематических карт [Заалишвили, Кануков, 2017; Кануков, 2017а].

В процессе исследования были созданы тематические карты трех видов:

- карта фактического материала;
- карта изогипс и глубин кровли галечников;

• карта инженерно-геологического районирования.

Тематические карты разрабатывались с соответствующими базами данных.

На карте фактического материала представлен только один слой «горные выработки» с полями:

• тип выработки (скважина, траншея, шурф, колодец);

• индекс (номер выработки и индекс типа), поле вынесено для подписи на карту;

• номер выработки.

Карта инженерно-геологического районирования также несет информацию о выработках. Кроме того приведена информация:

• о склонах крутизной более 15 градусов (полигональный слой, без атрибутивных данных);

• категории грунтов по сейсмическим свойствам в соответствии с существующими требованиями СНИП II-7-81*.

Последующие перспективы разработки созданных геокодированных баз данных сводятся к пространственному анализу атрибутивной информации. На его основе возможно:

• создание непрерывных полей с функциями уточнения и актуализации информации на основе вновь поступающих данных (т.е. детализации);

- создание дежурной карты;
- наложение с информацией об опасных техногенных объектах;
- наложение информации о глубинах кровли водных горизонтов и линз;
- решение других пространственных задач.

По всем скважинам в ГИС – проекте приведено описание грунтов (табл. 1). Данная информация собрана в базу данных геологической информации, сформированной в виде шейп-файла с пространственной привязкой каждой скважины.

Выводы

1. Геоинформационные системы (ГИС) наряду с системами электронного документооборота (СЭД) являются в настоящее время необходимой составной частью государственного управления.

2. Принятие Градостроительного кодекса привело к созданию многих информационных систем обеспечения градостроительной деятельности (ИСОГД). При этом государство не может выделять или вводить свою собственную систему ИСОГД. Такой путь является крайне неэффективным, блокирующим развитие и «само-» совершенствование систем. В то же время, государство может, и должно регламентировать протоколы обмена данными между системами с учетом требований безопасности, разработать структуры метаданных, как например, это уже реализовано в электронной системе Роскадастра.

3. В силу практической необходимости и востребованности наиболее гибкой геоинформационной системой оказалась система Роскадастра.

4. Разработана структурно-функциональная модель ИСОГД, позволяющая создавать информационную систему для нужд пользователя, при сохранении совместимости с другими продуктами, построенными согласно данной модели, а также ряда уже существующих систем.

5. Предоставление возможностей использования кадастровой карты по протоколу WMS (в виде WMS-сервиса) позволило использовать данные во многих приложениях, как государственных служб, так и частных пользователей.

6. Протоколы WMS и WFS являются стандартами Открытого геопространственного консорциума Open Geospatial Consortium (OGS) и поддерживаются большинством приложений.

7. Использование протокола WMS позволяет обеспечить доступ к данным о сейсмичности и рисках в виде информационного раздела как в собственные разрабатываемые продукты, так и в продукты сторонних разработчиков.

 На основе современных информационных технологий создана база данных исходной сейсмичности разного уровня (вероятностные карты ДСР и СМР) территории РСО-А (детальное сейсмическое районирование) и территории г. Владикавказа. 9. Использование разработанной нами методики оценки сейсмического риска территории позволяет рассчитать рейтинг грунтов и сейсмический риск территории.

10. На территории г. Владикавказа выделены участки с различной глубиной залегания галечников и мощностью глинистого и суглинистого покрова на галечниках, что являются основными показателями, определяющими категорию сейсмичности грунтов по СНиП-II-7-81*.

11. На основе анализа физико-механических свойств, в том числе (при необходимости), с помощью их дополнительного изучения геофизическими методами, проведено дифференцирование групп грунтов по их сейсмическим свойствам.

12. Создан ГИС-проект «База данных геологической информации территории г. Владикавказа», включающий информацию о пробуренных на территории города скважинах с подробным описанием грунтов.

13. На основе программного обеспечения с открытым исходным кодом выполнена интеграция базы данных геологической информации на территории г. Владикавказа в систему геоинформационного моделирования.

Литература

1. Алборов И.Д., Бурдзиева О.Г., Мадаева М.З. Биоэкологические проблемы содержания заброшенных месторождений руд цветных металлов в горных отрогах Северного Кавказа // Экология урбанизированных территорий. – 2017а. – № 1. – С. 56-61.

2. Алборов И.Д., Бурдзиева О.Г., Тедеева Ф.Г., Глазов А.П. Экологический риск в природно-технической системе // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. – 2017б. – №4 (71). – С. 100-103.

3. Алборов И. Д., Бурдзиева О. Г. Развитие экологической напряженности в зонах добычи твердых полезных ископаемых на склонах Восточного Кавказа (статья в коллективной монографии) // «Геолого-геофизические исследования глубинного строения Кавказа: геология и геофизика Кавказа: современные вызовы и методы исследований» / Под ред. Заалишвили В. Б. – Владикавказ: ГФИ ВНЦ РАН, 2017а. – 919 с. – С. 507-513.

4. Алборов И. Д., Бурдзиева О. Г. Воздействие геофизических параметров ландшафта на качество окружающей среды (статья в коллективной монографии) // «Геолого-геофизические исследования глубинного строения Кавказа: геология и геофизика Кавказа: современные вызовы и методы исследований» / Под ред. Заалишвили В. Б. – Владикавказ: ГФИ ВНЦ РАН, 2017б. – С. 514-518.

5. Архиреева И. Г., Гогичев Р. Р., Дзугкоев А. Р. К вопросу оценки сейсмического риска территории г. Владикавказа (статья в коллективной монографии) // «Геолого-геофизические исследования глубинного строения Кавказа: геология и геофизика Кавказа: современные вызовы и методы исследований» / Под ред. Заалишвили В. Б. – Владикавказ: ГФИ ВНЦ РАН, 2017а. – С. 144-156

6. Архиреева И. Г., Гогичев Р. Р., Дзугкоев А. Р. Оценка классов уязвимости застройки территории г. Владикавказа // Грозненский естественнонаучный бюллетень. – 2017б. – № 4 (8). – С. 11-19.

7. Баласанян С. Ю., Назаретян С. Н., Амирбекян В. С. Сейсмическая защита и её организация. // Гюмри: Эльдорадо, 2004. – 436 с.

8. Бурдзиева О.Г., Разоренов Ю.И., Дзеранов Б.В. Особенности мониторинга при подземной разработке старых месторождений // Геология и геофизика Юга России. – 2017. – № 2. – С. 13-25.

9. Гогичев Р. Р., Дзеранов Б. В. Изменение качественных характеристик подземных вод осетинского артезианского бассейна // Геология и геофизика Юга России. – 2017. – № 4. – С. 5-21.

10. Гогмачадзе С. А., Заалишвили З. В., Отинашвили М. Г., Шенгелия Н. В. Рейтинговая оценка урбанизированной территории для целей страхования. Теория сооружений и сейсмостойкость / Сб. трудов ИСМиС, АНГ. – Тбилиси. – 2003. – № 3. – С. 46-54.

11. Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 N 190-ФЗ (принят ГД ФС РФ 22.12.2004) // «Парламентская газета». – № 5-6, 14.01.2005.

12. Дзеранов Б. В., Гогичев Р. Р., Джусоева Н. Г. Использование ГИС-технологий при оценке качества подземных вод Республики Северная Осетия-Алания // Геология и геофизика Юга России. – 2017. – № 3. – С. 40-56.

13. Заалишвили В.Б. Физические основы сейсмического микрорайонирования / Монография. – М.:ОИФЗ РАН, 2000. – 367 с.

14. Заалишвили З. В., Мельков Д. А., Короткая Н. А., Дзеранов Б. В. Рейтинговая оценка грунтовых условий территории / Труды I Кавказской международной школы-семинара молодых учёных «Сейсмическая опасность и управление сейсмическим риском на Кавказе». – Владикавказ. – 2006.

15. Заалишвили В.Б., Аракелян А.Р., Макиев В.Д., Мельков Д.А. К вопросу сейсмического районирования территории республики Северная Осетия-Алания //Труды I международной конференции «Опасные природные и техногенные геологические процессы на горных и предгорных территориях Северного Кавказа», Владикавказ, 20-22 сентября 2007. – Владикавказ. – 2008. – С. 263-278.

16. Заалишвили В.Б., Мельков Д.А., Дзеранов Б.В., Кануков А.С. Оценка сейсмической опасности урбанизированной территории на основе современных методов сейсмического микрорайонирования (на примере г. Владикавказа) // Труды международной научно-практической конференции «Молодые ученые в решении актуальных проблем науки», Владикавказ, 22-23 мая 2010 г. – Владикавказ. – 2010. – С. 348-351.

17. Заалишвили В.Б., Дзеранов Б.В. Оценка сейсмической опасности территории РСО-Алания // Труды научно-практической конференции «Молодые ученые в решении актуальных проблем науки». – Владикавказ. – 2010. – С. 342-345.

18. Заалишвили В.Б., Мельков Д.А., Габараев А.Ф., Дзебоев Б.А., Дзеранов Б.В., Кануков А.С., Шепелев В.Д. Использование микросейсм при уточнении карт инженерно-геологического районирования территории, являющихся основой сейсмического микрорайонирования // Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 10-летию со дня основания КНИИ РАН «Наука и образование в Чеченской республике: состояние и перспективы развития» 7 апреля 2011 г. – Грозный: КНИИ РАН, 2011а. – С. 335-342.

19. Заалишвили В.Б., Рогожин Е.А. Оценка сейсмической опасности территории на основе современных методов детального районирования и сейсмического микрорайонирования // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – М.: ВНИИНТПИ, 2011. – № 3. – С. 31-43.

20. Заалишвили В.Б., Джгамадзе А.К. Инженерно-геологическое районирование города Ардон РСО-Алания // Труды IV Кавказской международной школысеминара молодых ученых «Сейсмическая опасность и управление сейсмическим риском на Кавказе» Владикавказ, 24-26 октября 2011 г. – Владикавказ. – 2011. – С. 102-106.

21. Заалишвили В.Б., Дзеранов Б.В., Габараев А.Ф. Актуализация карт сейсмической опасности территории Республики Северная Осетия-Алания // Труды IV Кавказской международной школы-семинара молодых ученых «Сейсмическая опасность и управление сейсмическим риском на Кавказе», Владикавказ, 24-26 октября 2011 г. – Владикавказ. – 20116. – С. 155-167.

22. Заалишвили В.Б., Дзеранов Б.В., Габараев А.Ф. Оценка сейсмической опасности территории и построение вероятностных карт // Геология и геофизика Юга России. – 2011 в. – № 1. – С. 48-58.

23. Заалишвили В.Б., Джгамадзе А.К. О создании карт инженерно-геологического районирования территорий населённых пунктов Республики Северная Осетия-Алания, как основы сейсмического микрорайонирования // Материалы II Всероссийской научно-технической конференции "Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа", 8-12 ноября 2012 г. – Грозный. – 2012. – С. 442-446.

24. Заалишвили В.Б. К вопросу создания единой карты детального сейсмического районирования // Материалы Международного симпозиума «Устойчивое развитие: Проблемы, Концепции, Модели» посвященного 20-летию КБНЦ РАН, ФГБУН КБНЦ РАН, Том II, 28 июня-3 июля 2013 г. – Нальчик. – 2013. – С. 106-110.

25. Заалишвили В. Б., Кануков А. С. Интеграция базы данных геологической информации в моделирующую геоинформационную систему (статья в коллективной монографии) // Коллективная монография по материалам VII Всероссийской научно-технической конференции «Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа», 6-9 декабря 2017 г. – Ессентуки, Грозный. – 2017. – С. 82-88.

26. Кануков А.С. Интеграция базы данных геологической информации в систему геоинформационного моделирования // Геология и геофизика Юга России. – 2017а. – № 3. – С. 57-66.

27. Кануков А. С. Обеспечение безопасного доступа к веб-интерфейсу системы геоинформационного моделирования с информационной базой данных о сейсмичности и сейсмических рисках // Геология и геофизика Юга России. – 2017б. – №4. – С. 48-57.

28. Мамышева Е. Г., Загоруйко А. Е. Обзор технологических платформ для формирования ИСОГД // Управление развитием территории. – 2010. –№ 3. – С. 70-72.

29. Styled Layer Descriptor profile of the Web Map Service Implementation Specification. Version: 1.1.0 (revision 4). OGC® Implementation Specification OGC 05-078r4. Ed. Dr. Markus Lupp. Date: 2007-06-29. 2007. 53 p. URL: http://portal. opengeospatial. org/files/?artifact_id=22364.

PRACTICAL IMPLEMENTATION OF GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM WITH SUPPORT FOR MODELING THE EFFECTS OF DANGEROUS NATURAL AND MAN-MADE PROCESSES

© 2017 A.S. Kanukov, Sc. Candidate (Tech.), D.A. Melkov, Sc. Candidate (Tech.),

Geophysical institute VSC RAS, Russia, 362002, RNO-Alania, Vladikavkaz, Markov Str., 93 a, e-mail: cgi_ras@mail. ru

On the basis of modern technologies developed structural-functional model «Information system for urban planning». This model is used as a basis for creating a modeling geographic information system. At the same time, an information database on seismicity and seismic risks is integrated into the system as a separate structural element, includes maps of detailed seismic zoning (DSR) of the Republic of North Ossetia-Alania and maps of seismic microzoning of the territory of settlements-administrative centers of the Republic of North Ossetia-Alania.

The methods of estimation of possible social and economic losses from possible earthquakes of different intensity are considered and the method of seismic risk assessment is developed. On their basis, the algorithm of «introduction» of a technique of an assessment of seismic risk in information systems of providing town-planning activity is offered. The use of the developed methodology for assessing the seismic risk of the territory allows you to directly calculate the soil rating and seismic risk of the territory.

On the territory of Vladikavkaz allocated areas with different soil conditions. Based on available data created the GIS project «Database of geological information of the Vladikavkaz city territory «, which includes information about wells drilled on the city territory and the composition of the respective soils. This database is integrated into the newly developed system, which allows to use it as one of the main sources of information in the problems of modeling the expected consequences of dangerous natural and man-made processes.

Keywords: seismicity, micro-zoning, seismic risk, information system, geographic information system, GIS project, database, geo-information modeling, web service, cadastral system.

References

1. Alborov I. D., Burdzieva O. G., Madaeva M. Z. Biojekologicheskie problemy soderzhanija zabroshennyh mestorozhdenij rud cvetnyh metallov v gornyh otrogah Severnogo Kavkaza [Bioecological problems of the maintenance of the abandoned deposits of ores of non-ferrous metals in the mountain spurs of the North Caucasus]. Jekologija urbanizirovannyh territorij. 2017a, No. 1. Pp. 56-61. (in Russian)

2. Alborov I. D., Burdzieva O. G., Tedeeva F. G., Glazov A. P. Jekologicheskij risk v prirodnotehnicheskoj sisteme [Environmental risk in the natural-technical system]. Trudy Instituta geologii Dagestanskogo nauchnogo centra RAN. 2017b. No. 4 (71). Pp. 100-103. (in Russian)

3. Alborov I.D., Burdzieva O.G. Razvitie jekologicheskoj naprjazhennosti v zonah dobychi tverdyh poleznyh iskopaemyh na sklonah Vostochnogo Kavkaza (stať ja v kollektivnoj monografii) [Development of ecological tension in the areas of mining of solid minerals on the slopes of the Eastern Caucasus (article in the collective monograph)]. «Geologo-geofizicheskie issledovanija glubinnogo stroenija Kavkaza: geologija i geofizika Kavkaza: sovremennye vyzovy i metody issledovanij», Pod red. Zaalishvili V.B., Vladikavkaz: GFI VNC RAN, 2017a, 919 p., Pp. 507-513. (in Russian)

4. Alborov I.D., Burdzieva O.G. Vozdejstvie geofizicheskih parametrov landshafta na kachestvo okruzhajushhej sredy (stať ja v kollektivnoj monografii) [Impact of geophysical parameters of the landscape on the quality of the environment (article in the collective monograph)]. «Geologo-geofizicheskie issledovanija glubinnogo stroenija Kavkaza: geologija i geofizika Kavkaza: sovremennye vyzovy i metody issledovanij», Pod red. Zaalishvili V.B., Vladikavkaz: GFI VNC RAN, 2017b, Pp. 514-518. (in Russian)

5. Arhireeva I.G., Gogichev R.R., Dzugkoev A.R. K voprosu ocenki sejsmicheskogo riska territorii g. Vladikavkaza (stat'ja v kollektivnoj monografii) [To the issue of seismic risk assessment of the territory of Vladikavkaz (article in the collective monograph)]. «Geologo-geofizicheskie issledovanija glubinnogo stroenija Kavkaza: geologija i geofizika Kavkaza: sovremennye vyzovy i metody issledovanij», Pod red. Zaalishvili V.B., Vladikavkaz: GFI VNC RAN, 2017a, Pp. 144-156. (in Russian)

6. Arhireeva I.G., Gogichev R.R., Dzugkoev A.R. Ocenka klassov ujazvimosti zastrojki territorii g. Vladikavkaza [Assessment of vulnerability classes for the construction of the territory of Vladikavkaz]. Groznenskij estestvennonauchnyj bjulleten'. 2017b, No. 4 (8). Pp. 11-19. (in Russian)

7. Balasanjan S. Ju., Nazaretjan S. N., Amirbekjan V. S. Sejsmicheskaja zashhita i ejo organizacija. [Seismic protection and its organization]. Gjumri: Jel'dorado, 2004. 436 p. (in Russian)

8. Burdzieva O. G., Razorenov Ju. I., Dzeranov B. V. Osobennosti monitoringa pri podzemnoj razrabotke staryh mestorozhdenij. [Features of monitoring for underground development of old deposits]. Geologija i geofizika Juga Rossii. 2017. No. 2, Pp. 13-25. (in Russian)

9. Gogichev R. R., Dzeranov B. V. Izmenenie kachestvennyh harakteristik podzemnyh vod osetinskogo artezianskogo bassejna. [Change in qualitative characteristics of underground waters of the Ossetian artesian basin]. Geologija i geofizika Juga Rossii. 2017. No. 4, Pp. 5-21. (in Russian)

10. Gogmachadze S.A., Zaalishvili Z.V., Otinashvili M.G., Shengelija N.V. Rejtingovaja ocenka urbanizirovannoj territorii dlja celej strahovanija. [Rating of the urbanized territory for insurance purposes]. Teorija sooruzhenij i sejsmostojkost', Sb. trudov ISMiS, ANG. Tbilisi. 2003. No. 3, Pp. 46-54. (in Russian)

11. Gradostroitel'nyj kodeks Rossijskoj Federacii ot 29.12.2004 N 190-FZ (prinjat GD FS RF 22.12.2004). [Urban Development Code of the Russian Federation of 29.12.2004 N 190-FZ (adopted by the State Duma of the Russian Federation on December 22, 2004)]. «Parlamentskaja gazeta». No. 5-6, 14.01.2005. (in Russian)

12. Dzeranov B. V., Gogichev R. R., Dzhusoeva N. G. Ispol'zovanie GIS-tehnologij pri ocenke kachestva podzemnyh vod Respubliki Severnaja Osetija-Alanija. [The use of GIS technologies in assessing the quality of groundwater in the Republic of North Ossetia-Alania]. Geologija i geofizika Juga Rossii. 2017. No. 3, Pp. 40-56. (in Russian)

13. Zaalishvili V.B. Fizicheskie osnovy sejsmicheskogo mikrorajonirovanija. [Physical basis of seismic microzonation]. Monografija. M.:OIFZ RAN, 2000. 367 p. (in Russian)

14. Zaalishvili Z. V., Mel'kov D. A., Korotkaja N.A., Dzeranov B. V. Rejtingovaja ocenka gruntovyh uslovij territorii. [Rating assessment of ground conditions of the territory]. Trudy I Kavkazskoj mezhdunarodnoj shkoly-seminara molodyh uchjonyh «Sejsmicheskaja opasnost' i upravlenie sejsmicheskim riskom na Kavkaze». Vladikavkaz. 2006. (in Russian)

15. Zaalishvili V.B., Arakeljan A.R., Makiev V.D., Mel'kov D.A. K voprosu sejsmicheskogo rajonirovanija territorii respubliki Severnaja Osetija-Alanija. [To the issue of seismic zoning of the territory of the Republic of North Ossetia-Alania]. Trudy I mezhdunarodnoj konferencii «Opasnye prirodnye i tehnogennye geologicheskie processy na gornyh i predgornyh territorijah Severnogo Kavkaza», Vladikavkaz, 20-22 sentjabrja 2007. Vladikavkaz. 2008. Pp. 263-278. (in Russian)

16. Zaalishvili V.B., Mel'kov D. A., Dzeranov B.V., Kanukov A.S. Ocenka sejsmicheskoj opasnosti urbanizirovannoj territorii na osnove sovremennyh metodov sejsmicheskogo mikrorajonirovanija (na primere g. Vladikavkaza). [Seismic hazard assessment of the urbanized territory on the basis of modern methods of seismic microzonation (on the example of Vladikavkaz)]. Trudy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Molodye uchenye v reshenii aktual'nyh problem nauki», Vladikavkaz, 22-23 maja 2010 g. Vladikavkah. 2010. Pp. 348-351. (in Russian)

17. Zaalishvili V.B., Dzeranov B.V. Ocenka sejsmicheskoj opasnosti territorii RSO-Alanija. [Seismic hazard assessment of the territory of North Ossetia-Alania]. Trudy nauchno-prakticheskoj konferencii «Molodye uchenye v reshenii aktual'nyh problem nauki». Vladikavkaz. 2010. Pp. 342-345. (in Russian)

18. Zaalishvili V.B., Mel'kov D. A., Gabaraev A.F., Dzeboev B.A., Dzeranov B.V., Kanukov A.S., Shepelev V.D. Ispol'zovanie mikrosejsm pri utochnenii kart inzhenernogeologicheskogo rajonirovanija territorii, javljajushhihsja osnovoj sejsmicheskogo mikrorajonirovanija. [The use of microseisms in the specification of maps of engineeringgeological zoning of the territory, which are the basis for seismic microzonation]. Materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii, posvjashhennoj 10-letiju so dnja osnovanija KNII RAN «Nauka i obrazovanie v Chechenskoj respublike: sostojanie i perspektivy razvitija» 7 aprelja 2011 g. Groznyj: KNII RAN, 2011a. Pp. 335-342. (in Russian)

19. Zaalishvili V.B., Rogozhin E.A. Ocenka sejsmicheskoj opasnosti territorii na osnove sovremennyh metodov detal'nogo rajonirovanija i sejsmicheskogo mikrorajonirova-nija. [Seismic hazard assessment of the territory based on modern methods of detailed zoning and seismic mirozonation]. Sejsmostojkoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenij. M. VNIINTPI, 2011. No. 3, Pp. 31-43. (in Russian)

20. Zaalishvili V.B., Dzhgamadze A.K. Inzhenerno-geologicheskoe rajonirovanie goroda Ardon RSO-Alanija. [Engineering-geological zoning of the city of Ardon North Ossetia-Alania]. Trudy IV Kavkazskoj mezhdunarodnoj shkoly-seminara molodyh uchenyh «Sejsmicheskaja opasnost' i upravlenie sejsmicheskim riskom na Kavkaze» Vladikavkaz, 24-26 oktjabrja 2011 g. Vladikavkaz. 2011. Pp. 102-106. (in Russian)

21. Zaalishvili V.B., Dzeranov B.V., Gabaraev A.F. Aktualizacija kart sejsmicheskoj opasnosti territorii Respubliki Severnaja Osetija-Alanija. [Updating maps of seismic hazard of the territory of the Republic of North Ossetia-Alania]. Trudy IV Kavkazskoj mezhdunarodnoj shkoly –

seminara molodyh uchenyh «Sejsmicheskaja opasnosť i upravlenie sejsmicheskim riskom na Kavkaze», Vladikavkaz, 24-26 oktjabrja 2011 g. Vladikavkaz. 2011b. Pp. 155-167. (in Russian)

22. Zaalishvili V. B., Dzeranov B. V., Gabaraev A. F. Ocenka sejsmicheskoj opasnosti territorii i postroenie verojatnostnyh kart. [Seismic hazard assessment of the territory and construction of probability maps]. Geologija i geofizika Juga Rossii. 2011v. No. 1. Pp. 48-58. (in Russian)

23. Zaalishvili V.B., Dzhgamadze A.K. O sozdanii kart inzhenerno-geologicheskogo rajonirovanija territorij naseljonnyh punktov Respubliki Severnaja Osetija-Alanija, kak osnovy sejsmicheskogo mikrorajonirovanija. [On the creation of maps of engineering and geological zoning of the territories of populated areas of the Republic of North Ossetia-Alania, as the basis for seismic microzoning]. Materialy II Vserossijskoj nauchno-tehnicheskoj konferencii "Sovremennye problemy geologii, geofiziki i geojekologii Severnogo Kavkaza", 8-12 nojabrja 2012 g. Groznyj. 2012. Pp. 442-446. (in Russian)

24. Zaalishvili V.B. K voprosu sozdanija edinoj karty detal'nogo sejsmicheskogo rajonirovanija. [On the issue of creating a single map for detailed seismic zoning]. Materialy Mezhdunarodnogo simpoziuma «Ustojchivoe razvitie: Problemy, Koncepcii, Modeli» posvjashhennogo 20-letiju KBNC RAN, FGBUN KBNC RAN, Tom II, 28 ijunja-3 ijulja 2013 g. Nal'chik. 2013. Pp. 106-110. (in Russian)

25. Zaalishvili V.B., Kanukov A.S. Integracija bazy dannyh geologicheskoj informacii v modelirujushhuju geoinformacionnuju sistemu (stať ja v kollektivnoj monografii). [Integration of a geological information database into a modeling geoinformation system (an article in a collective monograph)]. Kollektivnaja monografija po materialam VII Vserossijskoj nauchno-tehnicheskoj konferencii «Sovremennye problemy geologii, geofiziki i geojekologii Severnogo Kavkaza», 6-9 dekabrja 2017 g. Essentuki, Groznyj. 2017. pp. 82-88. (in Russian)

26. Kanukov A.S. Integracija bazy dannyh geologicheskoj informacii v sistemu geoinformacionnogo modelirovanija. [Integration of geological information database into the system of geoinformation modeling]. Geologija i geofizika Juga Rossii. 2017a. No. 3, Pp. 57-66. (in Russian)

27. Kanukov A.S. Obespechenie bezopasnogo dostupa k veb-interfejsu sistemy geoinformacionnogo modelirovanija s informacionnoj bazoj dannyh o sejsmichnosti i sejsmicheskih riskah. [Providing secure access to the web interface of the geoinformation modeling system with an information database on seismicity and seismic risks]. Geologija i geofizika Juga Rossii. 2017b. No. 4. pp. 48-57. (in Russian)

28. Mamysheva E.G., Zagorujko A.E. Obzor tehnologicheskih platform dlja formirovanija ISOGD. [Overview of technological platforms for the formation of Information System Designed for City Planning]. Upravlenie razvitiem territorii. 2010. No. 3, Pp. 70-72. (in Russian)

29. Styled Layer Descriptor profile of the Web Map Service Implementation Specification. Version: 1.1.0 (revision 4). OGC® Implementation Specification OGC 05-078r4. Ed. Dr. Markus Lupp. Date: 2007-06-29. 2007. 53 p. URL: http://portal. opengeospatial. org/files/?artifact_id=22364.

VДК 551.435.627+551.2+556.5 DOI 10.23671/VNC.2018.2.14355

РОЛЬ ТЕКТОНИКИ В ОБРАЗОВАНИИ МАЛЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

© 2018 Е.В. Кюль¹, к. г. н., Л.И. Канкулова²

¹ФГБНУ «Федеральный научный центр «Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук», Центр географических исследований, Россия, 360009, КБР, г. Нальчик, ул. Туполева 33, e-mail: elenakyul@mail. ru;

²ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова», Россия, 360030, КБР, г. Нальчик, пр. Ленина 1B, e-mail: lina_ ismailovna@mail. ru

В статье приведены результаты площадной оценки распределения малых водных объектов на территории КБР. При инвентаризации описаны 83 объекта, 75 из которых составляют родники. Практически все они приурочены к таким типам водоносных систем, как трещинно-жильные воды и воды зон тектонических нарушений. Прослеживается чёткая взаимосвязь между разрывными тектоническими нарушениями, оползневыми массивами и родниками трещинно-тектонического (разломного) типа. Масштабные работы по данной проблеме исследований на территории КБР проводятся впервые и имеют достаточно большое практическое значение. В дальнейшем, при определении рационального использования малых водных объектов в хозяйственных целях необходимо проведение комплекса специализированных (гидрохимических, экологических и др.) исследований.

Ключевые слова: оползневые массивы, родники, родниковые ручьи, мелкие водные объекты, разрывные тектонические нарушения, речные бассейны.

Введение. При исследовании природных водных объектов территории традиционно большое внимание уделяется крупным объектам таким, как реки и озёра. Малые водные объекты (MBO) в виде родниковых ручьев, занимают до 90% от общего числа постоянных водных [Всеволожский, 1991; Канкулова, 2015, 2016; Курбанов и др., 2017], являясь важным звеном в образовании более крупных водных объектов – рек и озёр и источником питьевой и лечебной (в случае высокой минерализации) воды. Ввиду малых размеров они характеризуются низкой устойчивостью к антропогенному воздействию. Поэтому изучение и сохранение т. н. «... родниково-ручьевых геосистем (РРГ) ...» (введён авторами), при всё возрастающей антропогенной нагрузке на природную среду, становится актуальной и приоритетной задачей. Для горных территорий с очень низким порогом устойчивости к антропогенному воздействию данная проблема актуальна вдвойне. При изучении оползневой деятельности на территории КБР [Кюль, Анисимов, 2017а – в; Кюль, 2017а - г] было установлено, что существует прямая связь между образованием оползневых массивов (OM) и тектонической деятельностью. Цель исследований: установление связи между оползневыми массивами и образованием и распределением на исследуемой территории MBO с учётом тектонического фактора. Объект исследований: горная и предгорная часть Кабардино-Балкарской Республики (КБР) выше горизонтали 800 м. [Кюль и др., 2014]. Предмет исследований: связь между тектонической деятельностью, оползневыми массивами и малыми водными объектами. На настоящий момент времени родниковые ручьи, как и родники, изучены на исследуемой территории достаточно слабо и фрагментарно, хотя имеют большое рекреационное и хозяйственное значение. Сохранение данных водных объектов очень важно для устойчивого развития территорий.

Материалы и методы исследований. Так как полных данных по распространению родниковых ручьёв на исследуемой территории нет за основу была взята карта оползневой опасности из Атласа природных опасностей КБР, составленной по данным мониторинга, проведенного Кабардино-Балкарской геологоразведочной экспедицией в 80-90-е годы прошлого столетия по методике, разработанной ВСЕ-ГИНГЕО, а также по результатам собственных полевых исследований [Разумов и др., 2000]. На ее основу (карта М 1:200000) были вынесены ОМ с выходами подземных вод, частично дополненые данными дешифрирования космоснимков различных лет залёта на исследуемую территорию и полевых GPS-наблюдений за последние 5 лет. Основной метод: картографический. Работа выполнялась в рамках комплексных исследований подверженности геосистем Северного Кавказа опасным природным процессам, проводимых в Центре географических исследований КБНЦ РАН на основе развития и реализации геоинформационной методологии численной интегральной оценки степени природной опасности, а также разрабатываемой одним из авторов методики оценки влияния опасных природных процессов (ОПП) на горные ландшафты [Кюль, 2014, 2015; Кюль и др., 2014].

Постановка задачи. На предварительном этапе по результатам анализа специальной карты оползневой опасности КБР М 1:200000 (составлена на основе анализа карты (М 1:100000, 1994 г.) распространения экзогенных геологических процессов (ЭГП) [Разумов и др., 2000] выделены в пределах геоморфологических и гидрографических таксонов ОМ с выходами подземных вод (наземные родники). Далее при дешифрировании космоснимков и на следующем полевом этапе в ходе инвентаризации вносятся уточнения и дополнения, а затем составляются паспорта родников и родниковых ручьёв. На заключительном этапе проводится распределение малых водных объектов по морфологии, характеру выхода на поверхность и по типу водоподводящих каналов. Далее они группируются по речным бассейнам и линейным системам тектонических нарушений [Кюль, 2017б].

Методические и теоретические вопросы. Исследования проводятся в горной и предгорной части территории, где, в силу физико-географических особенностей и сконцентрированы основные малые водные объекты тектонического типа. Для определения границ исследуемой территории даётся её высотное деление: между горной и предгорной частью – по горизонтали. Далее выделяются главный речной бассейн (бассейн р. Терек) и основные крупные речные бассейны разного порядка в пределах границ административного субъекта (КБР) с основными административными районами. Тектоническое районирование проводится на основе анализа фондовых материалов [Бабурин и др., 2014; Кумыков, Кюль, 1993; Мезенина и др., 1977; СТ СЭВ..., 1980]. Характеристика водных объектов даётся по следующим параметрам:

1) географическая привязка;

- 2) при наличии ОМ его номер по Атласу... [Разумов и др., 2000];
- 3) размер и тип;
- 4) ландшафтные условия участков расположения МВО;
- 5) экологическое состояние;

6) наличие опасных природных процессов (ОПП);

7) возможное использование.

Терминологическое обеспечение проблемы исследований. Родником (источником) называется естественный сосредоточенный выход подземных вод непосредственно на поверхность земли или под водой [Всеволожский, 1991]. Родниковый ручей – водоток с родниковым питанием, соединяющийся с водотоком следующего порядка или озером. Совокупность всех водотоков и водоемов, образуемых выходами родников от места их выхода на дневную поверхность до впадения в другой водоем или водоток, или до места своего превращения в водоток смешанного питания определяется как «родниковый бассейн». Для решения поставленной задачи введено такое понятие, как «родниково-ручьевые геосистемы (РРГ), а именно: «... собственно водные объекты, родник и ручей, с комплексом природно – климатических условий, характерных для территории, на которой они расположены» (термин введён авторами). При проведении инвентаризации используются следующие классификации малых водных объектов (МВО) [Всеволожский, 1991; Гидрохимические..., 2000; ГОСТ-27065-86; www. stdbooks. net; www. rodniktver. narod. ru]: *Родниково-ручьевые геосистемы* выделяются по следующим параметрам:

1. По времени действия. Постоянные и временно существующие.

2. По генезису. Естественные и искусственные.

3. По наличию ОПП.

4. По ландшафтным условиям расположения МВО.

5. По экологическому состоянию.

6. По сложности гидрографической сети. Простые (с одним руслом). Сложные (с притоками). Родниковый бассейн (несколько родниковых ручьёв).

7. По типу родникового ручья.

7.1. По размеру. Малые (менее 15 м). Средние (от 15 до 1000 м). Большие (более 1000 м).

8. По типу истока (родника). Родники выделяются по следующим параметрам.

8.1. По характеру выхода на поверхность. Восходящие (напорные). Нисходящие (безнапорные).

8.2. По происхождению водоподводящих каналов. Трещинные. Трещинно-карстовые. Трещинно-тектонические (разломные). Поровые.

8.3. По морфологии. Лимнокрен (родник с выраженной чашей/ванной) – собственно место выхода родниковых вод. На дне ванны часто наблюдаются грифоны – выходы воды на поверхность, похожие на пузырьки кипящей воды. Гелокрен – место диффузной разгрузки подземных вод на относительно ровную поверхность, не сопровождающейся образованием родниковой чаши или постоянного русла, в результате чего образуется топкое, заболоченное место. Совокупность нескольких близкорасположенных гелокренов составляет кренополе – родниковый луг. Обычно из кренополя берут начало один или несколько родниковых ручьев, скорость течения которых сравнительно невелика.

8.4. По приуроченности к определенным типам водоносных систем. Родники, питающиеся верховодкой. Родники грунтовых поровых вод. Родники трещинно-грунтовых вод. Родники карстовых вод. Родники трещинно-жильных вод и вод зон тектонических нарушений. Родники вод современных вулканогенов. Родники межпластовых (артезианских) вод. Родники подземных вод области многолетней мерзлоты. 8.5. По величине дебита (расхода). Малодебитные менее 1 л/с. 2. Среднедебитные 1-10 л/с Высокодебитные более 10 л/с.

8.6. По температуре. Холодные. Тёплые. Горячие. Кипящие.

По данным инвентаризации MBO составляются Базы данных и специальные карты.

Результаты исследований. Оползневая деятельность с образованием малых водных объектов оценивается в пределах выделенных геоморфологических таксонов. В геоморфологическом отношении это следующие таксоны: горная часть исследуемой территории, т.н. геоморфологическая провинция, включает в себя сложно построенную морфоструктуру І порядка-орогенную морфоструктуру Большого Кавказа, развившуюся на месте альпийской геосинклинали [Кюль, 20176]. Горная провинция Большого Кавказа. Юго-Западная горная подпровинция (абсолютные высотные отметки 800-5000 и более). Представлена серией низкогорно-, среднегорно-, высокогорных хребтов с депрессиями. Граница провинции совпадает с границей северного склона Лесистого хребта (горизонталь 800 м). В гидрографическом отношении в границах главного речного бассейна 1 порядка, р. Терек, на территории КБР выделяется 7 основных речных бассейнов: 3 бассейна 2-го порядка – бассейн р. Малка, Лескен и Урух (левые притоки р. Терек); 2 бассейна 3-го порядка – бассейн р. Баксан (правый приток р. Малка) и Хазнидон (левый приток р. Урух); 2 бассейна 4-го порядка – бассейны рр. Чегем и Черек (правые притоки р. Баксан).

В отношении *тектоники* при площадной оценке оползневой деятельности в пределах горной части КБР можно выделить с ЮЗ на СВ (схема Хаина В.Е.) 4 основные крупные *линейные системы разрывных тектонических нарушений*, районы образования крупных и гигантских оползневых массивов (четвёртая выделена авторами дополнительно к 3-м, описанным ранее [Кюль, 20176]):

1. Высокогорная главная (более 2000 м). Мегаантиклинорий Большого Кавказа. Делится на зону Главного Кавказского хребта (с подобластью Бокового хребта). Протягивается в ЮВ направлении от западной границы Карачаево-Черкесской Республики (КЧР) до р. Терек. Этот сложно построенный альпийский горст- антиклинорий, расположенный в осевой части мегаантиклинория Большого Кавказа, разбит на ряд кулисообразно расположенных блоков, отделяющимися друг от друга депрессиями (в КБР представлена в бассейнах рр. Баксан, Чегем и Черек соответственно Штулу-Харезской, Башиль – Гара – Аузусуской и Штулинской депрессиями).

2. Пшекиш-Тырныаузская шовная зона, ПШ-ТШЗ (горизонталь 2000м). Это южная граница Северо-Кавказского краевого прогиба, отделяющая Скифскую плиту от альпийской геосинклинали. Она проходит по глубинным разломам, входящим в систему шовной зоны. В бассейне р. Баксан (г. Тырныауз) это горст шириной 2 км (в рельефе представлен Передовым хребтом).

3. Среднегорная. Расположена на сочленении Северо-Юрской эрозионно-тектонической депрессии и Скалистого хребта (горизонталь 2000 м). В КБР представлена в бассейнах pp. Баксан, Чегем и Черек соответственно Гижгит-Кестантыской (Былымской), Джылгысу-Карданской (Чегемской), Кишлыксу-Удурсуской (Хуламской) и Чайнашки-Рцывашкинской (Верхне-Балкарской) депрессиями (котловинами).

4. Низкогорная (горизонталь 800 м). Представлена системой разломов меридионального и западного простирания. Именно здесь Терско-Каспийский передовой прогиб, являясь южным продолжением Терско-Кумской впадины, с ЮЗ ограничен Нальчикским разломом. Расположена на сочленении горной и предгорной части (Предгорная депрессия между Лесистым и Предгорным хребтами).

Пространственные закономерности распределения малых водных объектов. Дифференциация по речным бассейнам. В таблице 1 приведены данные распределения МВО (классификация родников по происхождению водоподводящих каналов) по основным речным бассейнам (с СЗ на ЮВ).

Всего по данным Атласа [Разумов и др., 2000] на территории КБР выделено 83 MBO.

На диаграмме (рис. 1) дано распределение MBO по типам (родники и родниковые ручьи) и основным речным бассейнам. Из них большинство (75) относятся к родникам. По бассейнам они распределились следующим образом: максимальное количество – в бассейне р. Баксан (31), а минимальное количество – в бассейне р. Малка (3). В бассейне р. Черек расположено 23 родника, в бассейне р. Чегем – 18. Родниковые ручьи преобладают в бассейнах рр. Чегем (4) и Баксан (3).

При этом надо отметить, что такое незначительное число родниковых ручьёв связано, в первую очередь, с тем, что данные MBO на территории КБР практически не изучались.

На диаграмме (рис. 2) дано распределение родников по основным речным бассейнам по 3-м типам: трещинные, трещинно-тектонические и поровые. Образование трещинных и трещинно- тектонических родников обусловлено геолого-структурными особенностями местности (наличием трещин, зон тектонических нарушений, контактов изверженных и осадочных пород). Всего к этим 2-м типам относится 53 родника. Данные родники и реже родниковые ручьи обычно образуются на оползневых склонах, что подтверждается результатами предыдущих исследований (количество ОМ увеличено с 49-ти до 53-х [Кюль, 2017б]). При этом практически все оползневые склоны обводнены.

Причём 29 родников напрямую связаны с тектоникой: по происхождению водоподводящих каналов это родники трещинно-тектонического типа. Трещиннотектонический тип связан с дренажом подземных вод через зоны тектонической дроблённости пород либо по линейным разломам. По приуроченности к определенным типам водоносных систем они относятся к родникам трещинно-жильных вод и вод зон тектонических нарушений. При этом более 60% родников трещиннотектонического типа (17) находится в бассейне р Черек, правого притока р. Баксан, в бассейне р. Баксан – меньше 13-ти. Основные же родники трещинного типа расположены в бассейне р. Чегем (13 из 24-х), а порового типа – в бассейне р. Баксан (12 из 22-х).

Дифференциация MBO по линейным системам разрывных тектонических нарушений, ЛСРТН (табл. 2). Как видно из таблицы 2 наиболее хорошо изучены в оползневом отношении и, в частности, по характеру обводнения и причинам оползневых подвижек только 2 из 4-х линейных систем разрывных тектонических нарушений: Пшекиш-Тырныаузская шовная зона и Среднегорная (бассейны pp. Баксан и Черек Балкарский). Здесь выявлены 26 МВО (родников), из них преобладают родники трещинно- тектонического типа (18), приуроченных к водам зон тектонических нарушений. Высокогорная главная зона рассматривалась в общем контексте: по результатам дешифрирования космоснимков и полевых обследований проведена предварительная оценка оползневой деятельности (с сопутствующими ОПП, снеж-

Таблица 1.

Распределение малых водных объектов по основным речным бассейнам (дифференциация с C3 на ЮВ)

		Малые водные объекты							
			род		Родниково-ручье- вые геосистемы (с				
		типы р					родника]
N⁰	Речной бассейн	ОМ по Атласу [Разумов и др., 2000]	все- го	Тре- щин- ный	трещин- нотек- тониче- ский	поро- вый	роднико- вые ручьи (с озёра- ми)	ОПП). Нумерация ОМ дана по Атласу [Разумов и др., 2000]	
1	Р. Малка, р/б. 2-го порядка	1-01-1-03	3	0	0	3	?	?	
2	 Р. Баксан, р/б 3-го по- рядка (без рр. Чегем и 	2-01,2-07, 2-11 2-13,2-35, 2-37,2-43	31	7	0	0		3, с развитием оползней, ОМ №№ 2-38,2-40, 2-41	
		2-04,2-06,2-09,2- 10,2-32,2-33,2-38 -2-41,2-44,2-45		0	12	0	3		
	Черек)	2-08, 2-18-2-21, 2-22-2-28		0	0	12		2-71	
	Р. Чегем,	3-01,3-02,3-26,3- 30-3-35,3-38,3-4 5,3-46,3-49		13	0	0	4, из них	4, с развитием оползней, ОМ №№ 3-10,3-12 (порового типа), №№ 3-31,3-35 (с озёрами)	
3	р/о 4-го по-	0	18	0	0	0	2 – с озё-		
	рядка	3-03,3-10,3-12, 3-37,3-54		0	0	5	рами		
	Р. Черек: р/б 4-го по- рядка		23	4	17	2	-	-	
	– соб-	4-04		1	0	0			
	ственно р. Черек;	0	3	0	0	0	?	?	
		4-01-4-03		0	0	2			
	р. Че- рек Бе- зенгийский (Хулам- ский);	4-18		1	0	0		?	
4		4-11-4-17,4-19, 4-20	10	0	0 9	0	?		
		0		0	0	0			
		4-23,4-30		2	0	0	-		
	р. Черек Балкарский	4-22,4-24,4-26, 4-27,4-29,4-31, 4-33,4-34	10	0	8	0	1	1, с развитием оползней, ОМ № 4-22	
		0		0	0	0			
	Итого:		75	24	29	22	8	5	

Примечания: ОМ – оползневые массивы; ОПП – опасные природные процессы; р/б – речной бассейн.



Рис. 1. Распределение малых водных объектов по основным речным бассейнам по 2-м типам



Рис. 2. Распределение родников по основным речным бассейнам по типам (по происхождению водоподводящих каналов)

ными лавинами, селями и обвально-осыпными процессами). Наиболее детально изучены верховья бассейна р. Малка [Кюль, 2017в]. Здесь в 5-ти ОМ выявлены выходы более 10-ти родников, в основном, минеральных вод, приуроченных к водам современных вулканогенов (тёплые и горячие родники), трещинно-жильных вод и вод зон тектонических нарушений.

При хорошей общей изученности в верхней части бассейна р. Баксан специализированные работы по проблеме исследований не проводились. Оценка взаимосвязи между структурно-тектоническими особенностями территории и многочисленными родниками не установлена. То же можно сказать и о верховьях рр. Чегем и Черек. Низкогорная (4-я зона) пока не рассматривалась, так как эта зона на данном

Таблица 2.

	Название ЛСРТН. Местоположение. Морфоструктура.	Речные бассейны		Малые водные объекты тектонического типа					
№		основной	вспомогательный (исток и приток)	трешиноватые	трещиннотекто- нические	поровые	BCELO	ОМ (нумера- ция по Атласу [20])	
1	Высокогорная глав- ная. На сочленении Главного и Боково- го хребтов.	Бассейн р. Малка (верховья)	Бирджалысу, Кы- зылкол, Карачаул. Истоки р. Малка	Родники приурочены к ОМ №№ 1-85-1-89 (выделен при инвентаризации [Кюль, 2017в]). Количество: более 10. Тип: мине- ральные воды, тёплые или горячие, реже холодные, чаще восходящие, вод современ- ных вулканогенов, трещинно-жильных вод и вод зон тектонических нарушений.					
	Штулу-Харесская депрессия	Бассейн р. Баксан (верховья)	Азау, Терскол Нарзанная, Юсюньги и Адыл- су с притоками (Шхельда)	Родники вод современных вулканогенов, реже трещинно-жильных вод и вод зон тектонических нарушений. Количество: более 20. Тип: минеральные воды (нарзан), холодные, чаще восходящие. Дополнитель- ные исследования.					
Башиль-Гара-Аузу- сууская Бассейн р Чегем (верхо- вья) Башиль – с прито- камии Гара-Аузусу с притоками				Родники трещинно-жильных вод и вод зон тектонических нарушений, подземных вод области многолетней мерзлоты чаще хо- лодные, минеральные воды (нарзан). Коли- чество: 5-10 ОМ № 3-22. Развиты лавинные процессы. Дополнительные исследования.					
	Штулинская	Бассейн р. Черек Балкарский (верховья)	Дыхсу, Карасу	Район практически не изучен. Оползневые исследования не проводились. Требуются дополнительные специальных исследований.					
2			Камыксу	1	-	-	1	2-13	
	Пшекиш-Тырныа- узская шовная зона. Передовой хребет.	Бассейн р. Баксан среднее течение)	Герхожансу	3	6	-	9	2-32, 2-33, 2-35, 2-37 -2-45	
			Мыстылкосу	-	3	-	3	2-34-2-36	
3.		То же	Гижгит	1	4	1	6	2-06-2-11	
	Среднегорная. На сочленении Се- веро-Юрской деп- рессии и Скалис- того хребта	Бассейн р Черек Бал-карский (верховья)	Чайнашки	1	3	-	4	4-24-4-27	
			Курноятсу	-	2	-	2	4-29, 4-30	
			Хашхасу	1	-	-	1	4-31	
Итого:					18	1	26		

Распределение родников по основным линейным системам разрывных тектонических нарушений (дифференциация с ЮЗ НА СВ)

Примечания: ОМ – оползневые массивы.







этапе исследований не изучалась (обследования проводились только в среднегорно-высокогорной части).

По результатам исследований составлена карта- схема распределения MBO по линейным системам разрывных тектонических нарушений (рис. 3, 4). Основой для данной карты-схемы послужила Геологическая карта КБР М 1:700000, взятая из ГИС-Атласа «Недра России» [www. vsegei. ru>gis-atlas-nedra-rossii]. Путём совмещения данной карты и тектонической карты КБР [www. kbrgeo. kdsu. ru. Atlas], были вынесены дополнительно тектонические нарушения. Далее проведена их нумерация согласно выделенным ранее ЛСРТН (4). Каждой из систем присвоен индекс: в числителе номер, в знаменателе – количество малых водных объектов, приуроченных к ней. Причём системы 1-3 дополнительно разбиты на блоки по бассейну (их нумерация, например, 1А, где цифрой обозначена вся система, а буквой – её часть в пределах конкретного речного бассейна) Такая карта-схема позволяет провести оценку взаимосвязи между тектоническим нарушениями и оползневыми массивами, а также водными объектами, не только по вертикали (в широтном направлении), но и по горизонтали.

Выводы. В результате проведённой предварительной площадной оценки удалось выявить связь между структурно – тектоническим строением исследуемой территории и образовании МВО. Практически все родниковые ручьи (8) и большая часть родников (53 из 75-ти) приурочены к таким типам водоносных систем, как трещинно-жильные воды (24) и воды зон тектонических нарушений (29). Из 29-ти трещинно- тектонических (разломных) в ходе инвентаризации описаны 26 родников, которые приурочены к 2-й и 3-й линейным системам разрывных тектонических нарушений. Причём более всего, 16, расположено в бассейне р. Баксан (Пшекиш-Тырныаузская шовная зона, 2А, 10 родников; Среднегорная, Гижгит-Кестантыская, ЗА, 7). Как видно из карты-схемы, наиболее изучена тектоническая и оползневая обстановка, а также характер обводнения и увлажнения ОМ в пределах Передового хребта и Северо-Юрской депрессии (среднегорно-высокогорная часть территории). Исходя из того, что сведения как о родниках, так и оползневой деятельности в высокогорной и низкогорной части (высокогорная 1 А-Г, и низкогорная, 4, территории КБР недостаточно полные, в ходе исследований, не удалось провести распределение родников по приуроченности к типу водоносной системы и водоподводящего канала на данной территории (в низкогорной части указано общее количество родников без их типизации).

С учётом того, что малые водотоки занимают важное место среди других водных объектов, то необходимо заложить ежегодные мониторинговые работы по данной проблеме исследований на территории КБР. С одной стороны, они позволят определить причины современных подвижек в оползневых массивах, с другой стороны, характер обводнения и увлажнения оползневых массивов, и, в частности, образование родников и ручьёв. Начатая инвентаризация и паспортизация малых водных объектов на исследуемой территории даст возможность выделить их типы и привести полную характеристику как самой местности, где они расположены, так и температурного режима, а также гидрохимического состава самих вод. Это необходимо, в дальнейшем, для определения рационального использования MBO в рекреационных, лечебных и народно-хозяйственных, например, в аквакультурных целях. Причём для этого понадобится проведение комплекса специализированных (гидрохимических, экологических и др.) исследований.

Литература

1. Бабурин В.Л., Данилина А.В., Гаврилова С.А., Грязнова В.В., Шныпарков А.Л. Оползневой риск на Северном Кавказе // В сборнике: Снежные лавины, сели и оценка риска. Вып. 3. – М.: Изд-во «Перо», 2014. – С. 41-49.

2. Всеволожский В. А. Основы гидрогеологии. – М.: Изд-во МГУ, 1991. – 351 с.

3. Гидрохимические показатели состояния окружающей среды: справочные материалы / Под ред. Гусевой Т.В. – М. – 2000. – 148 с.

4. ГОСТ 27065-86. Качество вод. Термины и определения / Дата введения – 01.01.1987.

5. Канкулова Л. И. Проблемы защиты и обустройства родников и экологического туризма в КБР / Материалы V Всероссийской конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Нальчик. – 2015. – С. 196-201.

6. Канкулова Л. И. Природоохранные технологии защиты и обустройства родников и природных памятников КБР и Северного Кавказа / Сборник тезисов участников форума «Наука будущего – наука молодых». – Казань. – 2016. – С. 126-129.

7. Канкулова Л. И. Природоохранные технологии защиты и обустройства родников и природных памятников КБР и Северного Кавказа / Сборник тезисов участников форума «Наука будущего – наука молодых». – Казань. – 2016. – С. 126-129.

8. Курбанов С. О., Канкулова Л. И., Малкарова Р. Р. Родники рекреационных зон и проблемы их защиты и обустройства / Научный журнал КубГАУ. – 2017 – № 132 (08).

9. Кюль Е.В. Оценка изменения ландшафтов лавинной деятельностью (по ландшафтным признакам частоты схода лавин) / Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. – 2014. – № 3 (59). – С. 53-59.

10. Кюль Е.В. Геоэкологическая оценка влияния лавинной деятельности на устойчивое развитие горных территорий // В сб.: География: развитие науки и образования. Коллект. монография по Материалам Международной научно-практической конференции, посв. 70-летию создания ЮНЕСКО / Отв. ред.: В.П. Соломин и др. – 2015.

11. Кюль Е.В. Вопросы комплексной оценки фактической природной опасности территории Кабардино- Балкарской Республики (на примере бассейна р. Чегем) // Геология и геофизика Юга России. – 2017а. – № 1. – С. 24-32.

12. Кюль Е.В. Тектонические оползневые массивы Центрального Кавказа // Геология и геофизика Юга России. – 20176. – № 2. – С. 67-81.

13. Кюль Е. В. Роль эндогенных факторов в образовании оползневых массивов // В сб.: Устойчивое развитие: проблемы, концепции, модели. Материалы Всероссийской конференции с международным участием, посвящённой 75-летию председателя ФГБНУ «Федеральный научный центр «Кабардино-Балкарский научный центр Российской Академии наук», доктора технических наук, профессора П. М. Иванова. – 2017 в. – С. 165-169.

14. Кюль Е.В. Анализ развития природно-антропогенных оползневых и обвально-осыпных процессов в бассейне р. Малка / Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. – 2017 г. – № 6 (80).

15. Кюль Е.В., Анисимов Д.А. Анализ оползневой деятельности в бассейне р. Чегем (Кабардино-Балкарская Республика) / Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. – 2017а. – № 1 (75). – С. 49-58.

16. Кюль Е.В., Анисимов Д.А. Анализ оползневой деятельности в бассейне р. Черек (Кабардино- Балкарская Республика) / Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. – 2017б. – №2 (76). – С. 64-72.

17. Кюль Е.В., Анисимов Д.А. Оползневые и обвально-осыпные процессы в бассейне р. Баксан Кабардино-Балкарской Республики // В книге: Геолого-геофизические исследования глубинного строения Кавказа: геология и геофизика Кавказа; современные вызовы и методы исследований / Заалишвили В.Б., Авджян К.В., Аджиева А.Х. и др. – 2017 в. – С. 338-346.

18. Кюль Е.В., Марченко П.Е., Джаппуев Д.Р. Анализ подверженности природно-техногенных горных геосистем опасным экзогенным процессам (на примере Кабардино-Балкарской Республики) // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. – 2014. – № 3 (59). – С. 46-52.

19. Мезенина Т. Н., Стрешнева Н. П. и др. Отчёт по инженерно-геологическому обследованию территории Карачаево-Черкесской Республики, Кабардино-Балкарской Республики, Республики Северная Осетия и Чечено-Ингушской Республики. 1975-1976 гг. Фонды КБГРЭ. – Нальчик. – 1977. – 241 с.

20. Разумов В. В., Перекрест В. В., Кюль Е. В., Стрешнева Н. П. и др. Атлас природных опасностей и стихийных бедствий Кабардино-Балкарской республики. – С.-Пб.: Гидрометеоиздат, 2000. – 66 с.

21. СТ СЭВ 2086-80. Водное хозяйство. Гидрогеология. Термины и определения.

22. Чулков К.И., Мезенина Т.Н., Сейнова И.Б. Пояснительная записка к комплекту карт распространения экзогенных процессов на территории Кабардино-Балкарской Республики М 1:200000 / Отчёт о НИР №9314 от 01.10.1993 (Комитет по ГО и ЧС КБР). – 97 с.

23. Электоронный pecypc: www. stdbooks. net.

24. Электоронный pecypc: www. rodniktver. narod. ru >metodichka. pdf.

25. Электронный ресурс: www. vsegei. ru>gis-atlas-nedra-rossii/

26. Электронный ресурс: www. kbrgeo. kdsu. ru. Atlas

THE ROLE OF TECTONICS IN THE FORMATION OF SMALL WATER OBJECTS

© 2018 E.V. Kyul¹, Sc. Cand. (Geogr.), L.I. Kankulova²

¹Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences Center of Geographic Researches, Russia, 360002, Kabardino-Balkarian Republic, Nalchik, Tupolev str., 33, e-mail: elenakyul@mail. ru;

²Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V. M. Kokova, Russia, 360030, Kabardino-Balkarian Republic, Nalchik, Lenin str., 1B, e-mail: lina_ismailovna@mail. ru The article presents the results of an area assessment of the distribution of small water bodies in the KBR. The inventory describes 83 objects, 75 of which are springs. Almost all of them are confined to such types of aquifer systems as fractured-vein water and water zones of tectonic disturbances. The correlation between the discontinuous tectonic faults, landslides arrays and education of the springs are fracture-tectonic (fault) type. Large – scale work on this problem of research on the territory of the KBR is carried out for the first time and are of great practical importance. Further, in determining the rational use of small water bodies for economic purposes it is necessary to conduct complex specialized investigations (hydrochemical, environmental, etc.).

Keywords: landslide massifs, springs, spring Brooks, small water bodies, the tectonic dislocations, river basins.

References

1. Baburin V.L., Danilina A.V., Gavrilova S.A., Grjaznova V.V., Shnyparkov A.L. Opolznevoj risk na Severnom Kavkaze. [Landslide risk in the North Caucasus]. V sbornike: Snezhnye laviny, seli i ocenka riska. Issue 3, M. Izd-vo "Pero", 2014. Pp. 41–49. (in Russian)

2. Vsevolozhskij V.A. Osnovy gidrogeologii. [Fundamentals of Hydrogeology]. M. Izd-vo MGU, 1991, 351 p. (in Russian)

3. Gidrohimicheskie pokazateli sostojanija okruzhajushhej sredy: spravochnye materialy. [Hydrochemical indicators of the state of the environment: reference materials]. Pod red. Gusevoj T.V., M. 2000, 148 p. (in Russian)

4. GOST 27065-86. Kachestvo vod. Terminy i opredelenija. [GOST 27065-86. Water quality. Terms and Definitions]. Data vvedenija 01.01.1987. (in Russian)

5. Kankulova L.I. Problemy zashhity i obustrojstva rodnikov i jekologicheskogo turizma v KBR. [Problems of protection and arrangement of springs and ecological tourism in Kabardino-Balkaria]. Materialy V Vserossijskoj konferencii studentov, aspirantov i molodyh uchenyh. Nal'chik, 2015, Pp. 196–201. (in Russian)

6. Kankulova L.I. Prirodoohrannye tehnologii zashhity i obustrojstva rodnikov i prirodnyh pamjatnikov KBR i Severnogo Kavkaza. [Environmental protection technologies and arrangement of springs and natural monuments of Kabardino-Balkaria and the North Caucasus]. Sbornik tezisov uchastnikov foruma "Nauka budushhego – nauka molodyh", Kazan', 2016, Pp. 126–129. (in Russian)

7. Kankulova L.I. Prirodoohrannye tehnologii zashhity i obustrojstva rodnikov i prirodnyh pamjatnikov KBR i Severnogo Kavkaza. [Environmental protection technologies and arrangement of springs and natural monuments of Kabardino-Balkaria and the North Caucasus]. Sbornik tezisov uchastnikov foruma "Nauka budushhego – nauka molodyh", Kazan', 2016. Pp. 126–129. (in Russian)

8. Kurbanov S.O., Kankulova L.I., Malkarova R.R. Rodniki rekreacionnyh zon i problemy ih zashhity i obustrojstva. [The springs of recreational zones and the problems of their protection and arrangement]. Nauchnyj zhurnal KubGAU, 2017, No.132(08). (in Russian)

9. Kjul' E.V. Ocenka izmenenija landshaftov lavinnoj dejatel'nost'ju (po landshaftnym priznakam chastoty shoda lavin). [Assessment of changes in landscapes affected by avalanche activity (by landscape characteristics of avalanche frequency)]. Izvestija Kabardino-Balkarskogo nauchnogo centra RAN, 2014, No.3(59), Pp. 53–59. (in Russian)

10. Kjul' E.V. Geojekologicheskaja ocenka vlijanija lavinnoj dejatel'nosti na ustojchivoe razvitie gornyh territorij. [Geoecological assessment of the impact of avalanche activity on the sustainable development of mountain areas]. V sb.: Geografija: razvitie nauki i obrazovanija. Kollekt. monografija po Materialam Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, posv. 70-letiju sozdanija JuNESKO, Otv. red. V.P. Solomin i dr. 2015. (in Russian)

11. Kjul' E.V. Voprosy kompleksnoj ocenki fakticheskoj prirodnoj opasnosti territorii Kabardino-Balkarskoj Respubliki (na primere bassejna r. Chegem). [Issues of a comprehensive assessment of the actual natural hazard of the Kabardino-Balkarian Republic (on the example of the Chegem river basin)]. Geologija i geofizika Juga Rossii, 2017a, No.1, Pp. 24–32. (in Russian)

12. Kjul' E.V. Tektonicheskie opolznevye massivy Central'nogo Kavkaza. [Tectonic Landslides Massifs of the Central Caucasus]. Geologija i geofizika Juga Rossii. 2017b, No.2, Pp. 67–81. (in Russian)

13. Kjul' E.V. Rol' jendogennyh faktorov v obrazovanii opolznevyh massivov. [The role of endogenous factors in the formation of landslide massifs]. V sb.: Ustojchivoe razvitie: problemy, koncepcii, modeli. Materialy Vserossijskoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem, posvjashhjonnoj 75-letiju predsedatelja FGBNU "Federal'nyj nauchnyj centr «Kabardino-Balkarskij nauchnyj centr Rossijskoj Akademii nauk", doktora tehnicheskih nauk, professora P.M.Ivanova, 2017v, Pp. 165–169. (in Russian)

14. Kjul' E.V. Analiz razvitija prirodno-antropogennyh opolznevyh i obval'no-osypnyh processov v bassejne r. Malka. [Analysis of the development of natural-anthropogenic landslide and avalanche-scree processes in the basin of the river. Malka]. Izvestija Kabardino-Balkarskogo nauchnogo centra RAN, 2017, No.6(80). (in Russian)

15. Kjul' E.V., Anisimov D.A. Analiz opolznevoj dejatel'nosti v bassejne r. Chegem (Kabardino-Balkarskaja Respublika). [Analysis of landslide activity in the basin of the river. Chegem (Kabardino-Balkarian Republic)]. Izvestija Kabardino-Balkarskogo nauchnogo centra RAN, 2017a, No.1(75), Pp. 49–58. (in Russian)

16. Kjul' E.V., Anisimov D.A. Analiz opolznevoj dejatel'nosti v bassejne r. Cherek (Kabardino- Balkarskaja Respublika). [Analysis of landslide activity in the basin of the river. Cherek (Kabardino-Balkarian Republic)]. Izvestija Kabardino-Balkarskogo nauchnogo centra RAN, 2017b, No.2(76), Pp.64–72. (in Russian)

17. Kjul' E.V., Anisimov D.A. Opolznevye i obval'no-osypnye processy v bassejne r. Baksan Kabardino-Balkarskoj Respubliki. [Landslide and avalanche-scree processes in the basin of the river. Baksan of the Kabardino-Balkarian Republic]. V knige: Geologo-geofizicheskie issledovanija glubinnogo stroenija Kavkaza: geologija i geofizika Kavkaza; sovremennye vyzovy i metody issledovanij, Zaalishvili V.B., Avdzhjan K.V., Adzhieva A.H. i dr. 2017v, Pp. 338–346. (in Russian)

18. Kjul' E.V., Marchenko P.E., Dzhappuev D.R. Analiz podverzhennosti prirodnotehnogennyh gornyh geosistem opasnym jekzogennym processam (na primere Kabardino-Balkarskoj Respubliki). [Analysis of the vulnerability of natural-technogenic mountain geosystems to dangerous exogenous processes (on the example of the Kabardino-Balkarian Republic)]. Izvestija Kabardino-Balkarskogo nauchnogo centra RAN, 2014, No.3(59), Pp. 46– 52. (in Russian)

19. Mezenina T.N., Streshneva N.P. i dr. Otchjot po inzhenerno-geologicheskomu obsledovaniju territorii Karachaevo-Cherkesskoj Respubliki, Kabardino-Balkarskoj Respubliki, Respubliki Severnaja Osetija i Checheno-Ingushskoj Respubliki. 1975-1976 gg. [Report on the engineering and geological survey of the territory of the Karachay-Cherkess Republic, the Kabardino-Balkarian Republic, the Republic of North Ossetia and the Chechen-Ingush Republic. 1975-1976]. Fondy KBGRJe, Nal'chik, 1977, 241 p.

20. Razumov V.V., Perekrest V.V., Kjul' E.V., Streshneva N.P. i dr. Atlas prirodnyh opasnostej i stihijnyh bedstvij Kabardino-Balkarskoj respubliki. [Atlas of Natural Hazards and Natural Disasters of the Kabardino-Balkarian Republic]. S.-Pb. Gidrometeoizdat, 2000, 66 p. (in Russian)

21. ST SJeV 2086-80. Vodnoe hozjajstvo. Gidrogeologija. Terminy i opredelenija. [Water management. Hydrogeology. Terms and Definitions]. (in Russian)

22. Chulkov K.I., Mezenina T.N., Sejnova I.B. Pojasnitel'naja zapiska k komplektu kart rasprostranenija jekzogennyh processov na territorii Kabardino-Balkarskoj Respubliki M 1:200000. [Explanatory note to a set of maps of the distribution of exogenous processes in the territory of the Kabardino-Balkarian Republic in a Scale 1: 200,000]. Otchjot o NIR No. 9314, 01.10.1993 (Komitet po GO i ChS KBR). 97 p. (in Russian)

23. Jelektoronnyj resurs: www.stdbooks.net.

24. Jelektoronnyj resurs: www.rodniktver.narod.ru >metodichka.pdf.

25. Jelektronnyj resurs: www.vsegei.ru>gis-atlas-nedra-rossii/

26. Jelektronnyj resurs: www.kbrgeo.kdsu.ru.Atlas

VДК 551.213:532.517:532.545 DOI 10.23671/VNC.2018.2.14356

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ НАЧАЛА ИЗВЕРЖЕНИЯ ВУЛКАНА ВСЛЕДСТВИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ТРЕЩИНЫ В КРОВЛЕ МАГМАТИЧЕСКОГО ОЧАГА

© 2018 А.А. Радионов, к. т.н.

Южный математический институт – филиал ФГБУН ФНЦ ВНЦ РАН, Россия, 362025, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Ватутина, д. 53, e-mail: aar200772@mail. ru

При помощи математического моделирования рассматривается ситуация, когда в кровле магматического очага, расположенного глубоко под конусом вулкана, мгновенно возникает трещина, давление в которой первоначально близко нулю. При падении давления в магматической камере вероятен «взрывной» рост пузырьков в магме за фронтом волны разгрузки и соответствующее увеличение объема магматического расплава. С помощью моделирования быстропротекающего процесса раскрытия возникшей трещины в кровле магматического очага под действием дегазирующегося магматического расплава показано, что раскрытие трещины останавливается на расстояниях гораздо меньших, чем глубина расположения кровли магматического очага.

Ключевые слова: математическая модель, раскрытие трещины, вулканическое извержение, магматическая камера.

Введение

Вулканическое извержение является одним из наиболее опасных природных явлений [Ритман, 1964]. В решении задачи предсказания вулканических извержений имеется прогресс [Федотов, 2006], позволяющий указать со значительной точностью место и время извержения, используя его предвестники. Для некоторых вулканических извержений не удается применить полученные знания [Новейший и современный..., 2005] и нужны дальнейшие исследования. Можно считать, что для данной геодинамической обстановки мощность и тип вулканического извержения определяется свойствами магматического расплава заполняющего периферийную магматическую камеру, расположенную под вулканом.

Очевидны трудности, с которыми сталкивается исследователь при необходимости непосредственного измерения параметров и характеристик магматического расплава и вмещающей горной породы непосредственно под вулканом на глубинах порядка 4-7 км. На этих глубинах расположен вулканический очаг, заполненный расплавленной магмой, в котором и протекают процессы, приводящие к началу извержения. Одним из способов изучения процессов инициирующих вулканическое извержение является математическое моделирование. С помощью этого инструментария можно задать различные параметры расплава и критерии раскрытия вулканических каналов и попытаться рассчитать численно развитие процессов, относящиеся к начальным этапам вулканического извержения.

В литературе описано несколько математических моделей разной сложности, описывающих процесс уже начавшегося или продолжающегося какое-то время

вулканического извержения [Кедринский и др., 2006; Gonnermann, Manga, 2007]. Эти модели представляются плодотворными, и на их основе удается объяснить особенности вулканических извержений, включая пульсирующие режимы выброса пирокластики из жерла вулкана. Развиваемые в этих работах представления о физических процессах протекающих в магматических расплавах при извержении вулкана можно использовать для описания случая образования трещины в кровле магматического очага. Применение работоспособных моделей может ответить на вопрос: способна ли возникшая трещина инициировать извержение вулкана, то есть в процессе своего раскрытия может ли она достигнуть поверхности.

При рассмотрении кратких временных промежутков (измеряемые долями секунды), охватывающих начальную стадию раскрытия трещины (и, возможно, начальную стадию извержения), необходимо рассматривать множество явлений, происходящих в магматическом расплаве. При резком падении давления уменьшается растворимость всех летучих компонентов, растворенных в магматическом расплаве. Наблюдаемые картины выбросов вулканами пеплов, пемз, пирокластики объясняются интенсивным образованием в магматических расплавах пузырьков, за счет роста которых образуются газопепловые потоки в каналах вулканов. Процесс отделения газовой составляющей расплава рассматривается аналогично кипению на основе динамики многофазных жидкостей.

Из анализа современных теоретических представлений о процессах при вулканических извержениях представляется, что основной движущей силой этих процессов является кипение поднимающихся расплавов в верхних слоях питающих каналов вулканов. Используя описанные в литературе математические модели, в настоящей работе предпринята попытка выяснить способно ли кипение расплава привести к извержению вулкана при падении давления на глубинах вулканического очага вследствие возможных сейсмических событий, или, возможно, кипение расплава только сопровождает извержение вулкана и его причиной не является.

Математическая модель

Использовалась математическая модель, котораянезначительно отличается от [Кедринский и др., 2006], что связано с изменениями, связанными с экспериментальными данными по исследованию магматических расплавов.

Принималась ячеистая модель магматического расплава, течение описывалось на основе уравнений гидродинамики многофазных сред. Для расчета поведения паровой фазы в жидкости принималось расположение зародышей пузырьков начального радиуса $a(t=0) = a_0 = 10^{-5}$ м в центре ячеек радиуса S, которые в свою очередь равномерно заполняют объем жидкости. На основе такого представления вычислялось объемное содержание паровой фазы в единице объема расплава как $\alpha_g = a^3 S^{-3}$. Количество ячеек N_g нормировалось таким образом, чтобы оно приблизительно соответствовало наблюдаемому количеству пузырьков в изверженных вулканических пемзах, либо количеству пузырьков, образующихся при лабораторных экспериментах в исследуемых образцах расплавов [Lyakhovskyetal., 1996; Экспериментальная минералогия..., 2004]. Радиус ячейки вычислялся из выражения $4\pi S^3 N_o/3 = 1$ м. Ячеистая модель схематически проиллюстрирована на рисунке 1.



Рис. 1. Схематическое представление ячеистой модели.

Плотность и объемное содержание двухфазной среды записывалась в виде сумм:

$$\rho = \alpha_g \rho_g + \alpha_l \rho_l, \, \alpha_g + \alpha_l = 1 \,, \tag{1}$$

где α_g, α_l – объемные содержания газовой и жидкостной фаз, ρ_g, ρ_l – плотности газовой и жидкой фазы. При изменениях внешнего давления порядка 1 ГПа плотность жидкой фазы меняется не существенно, но для описания быстропротекающих процессов необходимо использование представления сжимаемой среды с переменной плотностью, что позволяет проследить распространение волны разрядки и возможного влияния этой волны на рост пузырьков.

Уравнение неразрывности для двухфазной среды:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \left(\rho \vec{v}\right) = 0.$$
⁽²⁾

Уравнение сохранения импульса:

$$\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + \vec{v} \cdot \left(\nabla \cdot \vec{v}\right) = -\frac{\nabla p}{\rho} + \vec{g} + \frac{1}{\rho} \nabla \left(\mu \nabla \vec{v}\right), \qquad (3)$$

где вектор \vec{v} обозначает скорость течения магматического расплава, вектор g_{-} ускорение свободного падения, p_{-} давление, μ_{-} вязкость.

Использование одножидкостного приближения для вычисления изменений импульса каждой фазы в магматических расплавах обусловливается значительной вязкостью и малыми размерами пузырьков, что лишает пузырьки подвижности относительно несущей фазы.

Уравнение для энергии среды в рассматриваемом случае небольших перепадов давления может быть принято в виде уравнения переноса температуры :

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \vec{v} \cdot \nabla T = \nabla (\chi \nabla T) + \Phi_T , \qquad (4)$$

где Φ_T – функция, описывающая разогрев расплава при его деформации. Коэффициент температуропроводности ÷ в широком диапазоне давлений и температур для расплавов различных композиций меняется не значительно [Bagdassarov, Dingwell, 1994] и принимался постоянным $\chi=1.1\div1.4\cdot10^{-7} \, m^2/c$. Начальное условие для (4): $T(t=0) = T_0$. Выражение для Φ_T может быть записано в виде:

$$\Phi_{T} = \frac{2\mu_{l}}{\rho_{l}c_{pl}} \left[\left(\frac{\partial v_{x}}{\partial x} \right)^{2} + \left(\frac{\partial v_{y}}{\partial y} \right)^{2} + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v_{x}}{\partial y} + \frac{\partial v_{y}}{\partial x} \right)^{2} \right].$$
(5)

В этой формуле c_{pl} – теплоемкость расплава ииспользуется обозначение (v_x, v_y) для вектора скорости в декартовых координатах (x, y).

Разогрев расплава осуществляется вследствие его деформации растущими пузырьками и вследствие деформации расплава текущего в каналах сложной формы. Вторую причину выражение для Φ_T учитывает непосредственно, а для учета деформаций растущих пузырьков уравнение (4) записывается в сферических координатах и дополнительно решается в ячейке расплава, окружающего растущий паровой пузырек. Граничными условиями являются температура пара в пузырьке, вычисляемая из уравнения состояния пара, и равенство нулю первой производной по радиус-вектору на внешней границе ячейки. Полученное решение усредняется по радиальной координате внутри ячейки окружающей пузырек и получаются средние значения температуры, аналогично осреднением получаются значения концентрации растворенных летучих и вязкости расплава внутри ячейки.

Концентрация растворенных в расплаве летучих компонентов *с* подчиняется уравнению (для молекулярно растворенных летучих):

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \vec{v} \cdot \nabla c = \nabla \left(\mathbf{D} \nabla c \right) + \boldsymbol{\Phi}_c \quad , \tag{6}$$

с начальным условием $c(t=0) = c_0 \cdot \Phi_T - функция, описывающая сток летучих компонентов при дегазации в пузырьки. Коэффициент диффузии D принимается на основании экспериментальных данных в диапазоне D=1÷30 · 10⁻¹².$

Уравнение состояния, связывающее изменения давления и плотности многофазной жидкости принималось в виде:

$$\rho = \psi p + \left(1 - \alpha_g\right) \rho_{l0} , \qquad (7)$$

где $\psi = (1 - \alpha_g)\psi_l + \alpha_g\psi_g$ – сжимаемость двухфазной среды, ψ_l , ψ_g , – адиабатические сжимаемости вещества несущей и дисперсной фаз соответственно, которые определяются экспериментально и имеют значение обратно пропорциональное квадрату скорости звука в среде, ρ_{l0} – начальная плотность жидкой фазы. В работе [Кедринский и др., 2006] в качестве уравнения состояния использовалось уравнение Тэта, более точно описывающее связь давления и плотности при ударно-волновых нагрузках. Однако при давлениях характерных для периферийных магматических очагов линейное соотношение (7) выполняется с достаточной точностью.

Выражение (7) можно переписать в более удобном для вычислений виде:

$$\frac{\partial(\psi p)}{\partial t} + \nabla(\rho \vec{v}) - \rho_{l_0} \frac{\partial \alpha_g}{\partial t} = 0 , \qquad (8)$$

которое учитывает рост давления в расплаве при росте объемного парового содержания. Увеличение давления в жидкости вокруг растущих пузырьков может приводить к увеличению объема среды, если имеется свободное пространство для расширения.

Вязкость двухфазной среды вычисляется с помощью выражения

$$\mu = \alpha_g \mu_g + \alpha_l \mu_l , \qquad (9)$$

где μ_g – вязкость паровой фазы, μ_l – вязкость жидкой фазы. Такое представление вязкости двухфазной среды качественно согласуется с экспериментальными измерениями влияния объемного содержания паровой фазы на вязкость. Выражение для вязкости магматических расплавов μ_l , исходя из экспериментальных данных, обычно принимается в виде экспоненциальной зависимости

$$\mu_l = \mu_0 exp\left(\frac{E^0_\mu \left(1 - k_\mu c\right)}{RT}\right). \tag{10}$$

Значения численных констант отличаются для расплавов различных композиций и могут быть приняты в следующих диапазонах своих значений: $\mu_0 = 10^{-2.5} M^2/c$, $E_{\mu}^0 = 1.75 \div 3.06 \cdot 10^5 Дж$, $k_{\mu} = 6 \div 11$, R – универсальная газовая постоянная. Близкие значения численных констант уравнения (10) приведены в работах [Жариков, 2005, Анфилогов и др., 2005]. Зависимость вязкости от концентрации оксидов щелочных металлов подобна таковой для воды, записанной в виде (10). Отражают эти константы степень деполимеризации силикатного расплава, вызванную добавлением этих оксидов или растворением воды. При характерных для магматических очагов температурах, при быстром процессе декомпрессии расплава происходят процессы, связанные с выделением из расплава флюида. Химически растворенная вода, как и множество деполимизирующих магматический расплав компонентов, отделяется не мгновенно и вероятно занимает время большее, чем время, соответствующее скорости прохождения звуковой волны в единице объема. По всей видимости, уравнение (10) отслеживает изменения вязкости, протекающие не быстрее, чем происходит переход химически растворенной воды в молекулярно-растворенную.

Общий вид уравнения Рэлея-Ламба, которому подчиняется рост пузырька в жидкости приведен в [Нигматулин, 1987] в виде:

$$\left(1-\varphi^{(1)}\right)\rho_l^0 a \frac{d_g w_g}{dt} = p_g - p_\infty - \frac{2\sigma}{a} + \frac{4\mu_l}{a} w_g - \left(1-\varphi^{(2)}\right)\rho_l^0 \frac{3w_g^2}{2}, \qquad (11)$$

где полная производная по времени записывается с учетом скорости дисперсной фазы, с последующим интегрированием

$$\frac{d_g a}{dt} = w_g \ . \tag{12}$$

Здесь w_g – скорость роста пузырька, $p_g = \rho_l^0 R T_g$ – давление газа в пузырьке, ρ_l^0 – истинная плотность газа в пузырьке, P_∞ – давление жидкости вокруг пузырька, значение коэффициента поверхностного натяжения σ известно из экспериментальных данных и может быть принято в диапазоне σ =0.32÷0.36 Н/м для магм различных составов. Температура газа в пузырьке T_g может быть принята равной температуре расплава или определяться из дополнительного уравнения. Поправочные коэффициенты $\varphi^{(1)}$, $\varphi^{(2)}$, отражающие упорядоченность пузырьков в жидкости, могут быть приняты в виде:

$$\varphi^{(1)} \approx \frac{1.1\alpha_g^{1/3} - \alpha_g}{\alpha_l} , \varphi^{(2)} \approx \frac{1.5\alpha_g^{1/3} - 1.3\alpha_g}{\alpha_l} .$$
 (13)

Для анализа влияния скорости деформации в магматических расплавах привлечем результаты экспериментальных исследований этого вопроса [Жариков, 2005, Лебедев, Хитаров, 1979]. В этих работах указывается, что при значительных скоростях деформации расплав проявляет поведение более близкое к твердому состоянию, то есть на быстрые деформации расплав реагирует как твердое тело. Относительно медленные деформации вызывают течение расплава как жидкости.

Справедливость этого вывода зависит от реологических свойств магматического расплава, которые существенно меняются в зависимости от температуры и химического состава. Так, основные (базальтовые) расплавы более близки по своим свойствам к жидкости и быстрое падение давления может вызвать образование пузырьков, но в наблюдаемых на поверхности базальтовых расплавах очень мало воды и пузырьки не образуются. В кислых магматических расплавах наблюдается гораздо большее количество растворенной воды, способной образовывать пузырьки, но на быстрые изменения давления такие расплавы реагируют как твердое тело, в результате чего возможен только медленный рост пузырьков.

В уравнении (11) могут быть опущены как незначительные слагаемое в левой части и последнее слагаемое справа, а радиус пузырька при его медленном росте в реологически сложной среде определяется из баланса сил в правой части уравнения (11):

$$\frac{d_g a}{dt} = \frac{a}{4\mu_l} \left(p_g - p_\infty - \frac{2\sigma}{a} \right), \tag{14}$$

с начальным условием $a(t=0) = a_0$. Сравнение численных расчетов выполненных как с помощью уравнения (11), так и с помощью (14) показывает для вязких магматических расплавов и пузырьков рассматриваемого размера незначительные различия.

Для расчета роста парового пузырька необходимо учитывать массу пара поступающего из расплава, которая вычисляется из уравнения неразрывности, с учетом потока массы диффундирующей из расплава в пузырек:

$$\frac{\partial \rho_g}{\partial t} + \nabla \left(\rho_g \vec{v} \right) = \frac{3\alpha_g}{a} D \rho_l \left(\frac{\partial c}{\partial r} \right)_{r=a} - \Phi_c .$$
⁽¹⁵⁾

Величина Φ_c в правой части этого уравнения фигурирует в (6). Величина градиента $(\partial c / \partial r)_{r=a}$ может быть оценена с помощью квазистационарного решения уравнения диффузии растворенного газа в сферический пузырек:

$$\left(\frac{\partial c}{\partial r}\right)_{r=a} \approx \frac{c-c_H}{a}, \qquad (16)$$

где принимается закон Генри для растворимости воды в зависимости от давления $c_H = K_H p^{1/2}$, экспериментальные постоянные для воды имеют значения $K_H = 4.33 \cdot 10^{-6} \Pi a^{-1/2}$. Из (16) видно, что при быстрой декомпрессии величина градиента в правой части (16) поддерживается положительной, что обеспечивает пересыщения растворенных летучих в расплаве, необходимые для роста пузырьков. Есть несколько замечаний относительно выражения (16).

Экспериментальные исследования показывают, что вода химически взаимодействует с расплавом, и при невысоких её концентрациях (менее 3%) в молекулярном виде она может отсутствовать в расплаве. Отмечается, что механизм растворения первых процентов воды в расплаве является химическим растворением, связанным с диссоциацией воды по реакции $H \ O \rightarrow OH^{-1} + H^{+1}$, сопровождающейся разрывом мостиковых связей алюмосиликатного каркаса и деполимеризацией расплава для кислых магматических расплавов, либо его полимеризацией для основных расплавов.

Дальнейшее увеличение количества воды в магмах приводит к появлению в расплаве молекулярно-растворенной воды. Зачастую, эта часть воды существует в расплаве в виде гидратных (сольватных) комплексов, образующихся в результате расслоения расплава. Отмечается, что с увеличением температуры возрастает роль химически растворенной воды. Обе формы растворенной воды существуют в расплаве одновременно и с ростом общего количества воды возрастает количество молекулярно-растворенной воды. В [Анфилогов и др., 2005] приводится обобщенный график содержания двух форм воды в зависимости от общего содержания воды. Отмечается возможность перехода химически растворенной воды в молекулярно-растворенную при уменьшении температуры. В отсутствии молекулярно-растворенной воды в расплаве процесс роста и образования паровых пузырьков, содержащих молекулярную воду, замедляется не менее чем на время процесса указанного перехода.

Для разных геодинамических обстановок минимальное остаточное содержание воды в расплаве c_{min} может быть оценено в 0,5-1,5%. Также можно привлечь результаты изучения разных форм воды в кислых вулканических стеклах перлитах и абсидианах, где количество вулканической воды, содержащейся в виде гидроксилов, оценивается в 1-2%.

Из экспериментальных данных можно сделать вывод, что воды в магматическом расплаве вулканического очага расположенного на глубине 4-5 км может содержаться по закону Генри около 4% (для кислых расплавов), из которых около 3% приходится на химически растворенную воду и только 1% остается молекулярнорастворенной воде. Еще часть молекулярно-растворенной воды может появиться спустя некоторое время в процессе перехода химически растворенной воды при наличии соответствующих условий.

Вероятно, что химически растворенная вода не участвует в быстропротекающих процессах роста пузырьков, связанных с декомпрессией магматического очага. Тогда существующие в магматических расплавах пересыщения растворенной воды, которые предсказываются законом Генри, при быстропротекающих процессах завышены. Такая ситуация позволяет использовать уравнение (15) только как верхнюю оценку процессов диффузии, оправданную при длительных и медленных процессах подъема магматического расплава по питающим каналам, когда скорость перехода химически растворенной воды в молекулярную форму не играет существенной роли.

Поскольку вся химически растворенная вода не превращается в молекулярнорастворенную, то пресыщения в виде (16) представляются завышенными и должны выражаться в виде: $(\partial c / \partial r)_{r=a} \approx (c - c_H - c_{min}) / a$, где c_{min} – минимальное остаточное содержание химически растворенной воды в расплаве.

В работе [Кедринский и др., 2006] рассматривается гомогенная нуклеация паровых пузырьков. При существенных пересыщениях летучих в расплаве возрастает вероятность флуктуационного механизма образования пузырька, однако в функцию распределения пузырьков по размерам (называемой частотой нуклеации) необходимо внести уточнения связанные с сопротивлением реологически сложной среды, увеличивающимся с ростом размера образующегося пузырька. Ведь чем больше радиус образующегося пузырька, тем большую скорость деформации испытывает вмещающая жидкость в момент его возникновения. При значительной зависимости вязкости от скорости деформации практически все возникающие пузырьки будут иметь размер близкий к минимально возможному. В экспериментальной части работы [Lyakhovskyetal., 1996] также описываются паровые пузырьки, приблизительно одного размера, заполняющие пемзовую массу вулканического стекла.

Для вывода о размерах пузырьков паровой фазы есть еще одно основание, связанное с экспериментальными данными по структурным позициям воды в силикатных расплавах. Молекулярная вода, входящая в расплав в виде сольватных комплексов, являющихся результатом расслоения этих жидкостей, представляет собой фактически микроскопический зародыш пузырька, что избавляет от необходимости привлекать флуктуационную природу нуклеации пузырьков. Можно опереться на экспериментальные данные из [Экспериментальная минералогия..., 2004], где показано, что сольватный водосодержащий комплекс в расплаве может содержать порядка 3000 молекул воды. Это вполне макроскопическое включение.

В этой связи величина $a_0 = 10^{-5}$ м используемая в качестве начального условия в (14) крайне завышена и характеризует собой уже значительных размеров макроскопический пузырек. Более правдоподобны меньшие значения $a_0 \sim 10^{-7} \div 10^{-6}$ м, точнее отражающие экспериментальные наблюдения расслоения молекулярной воды и расплава. Однако далее в расчетах используется значение $a_0 = 10^{-5}$ м, поскольку с таким завышенным начальным радиусом пузырьков кипение расплава достигается быстрее, что точно не уменьшает роли процессов кипения в процессе раскрытия трещины.

Граничные и начальные условия, необходимые для решения задачи (1–16) указаны при описании расчетной области.

Описанная математическая модель кипения магматического расплава (1–16), в силу использованных предположений, является верхней оценкой интенсивности процессов кипения магматического расплава в модельной трещине. Это предположения о реологии магматического расплава как вязкой жидкости, о содержании всей растворенной воде в молекулярном виде, а также завышенные значения начальных размеров пузырьков дисперсной фазы. Учет более реальных значений для этих параметров изменит полученные результаты в сторону уменьшения влияния процессов кипения.

Вычислительная модель

Для поиска ответа на вопрос, возможно ли извержение вулкана, инициируемое мгновенным падением давления вблизи кровли магматического очага вследствие образования трещины, принималось модельное представление такой ситуации. В этом модельном представлении предполагалось, что вблизи кровли магматического очага возникает полость некоторого объема V_p , давление в которой близко к нулю. Эта полость моделирует образовавшуюся трещину. В численных экспериментах изучались конечные длины трещин, которые раскрываются под действием расклинивающего давления кипящего расплава.

Критерием раскрытия трещины выбиралось достижение критического значения давления в вершине трещины, при этом не учитывалось влияние тектонических напряжений во вмещающей породе, разных в различных геодинамических обстановках. Такой критерий используется для прогнозирования роста трещин в работах [Морозов, 1984; Lister, 1990; Khazan, Fialko, 1995]. В начальный момент расчета предполагалось, что трещина заполнена парами газовой фазы под атмосферным давлением, которое в 1500 раз меньше литостатического давления вблизи кровли очага.

Использовался метод конечных объемов, реализованный в библиотеках пакета OpenFOAM [URL: www. openfoam. com]. В качестве магматического очага рассматривается осесимметричная область, представленная цилиндрическим сегментом с 5 градусным раствором, схематически представленная на рис 2. В пакете OpenFOAM для расчета осесимметричных задач используются специальные граничные условия, которые задаются на плоскостях 0-1-2-3-4-5-6 и 0-10-8-9-4-7-6 (номера соответствуют номерам точек на рисунке 2) и называются «wedge». Ось симметрии проходит через точки 0-4-6.



Рис. 2. Схематическое трехмерное представление сегмента расчетной области в цилиндрически симметричном случае. Нижняя часть соответствует магматическому очагу, верхняя – трещине.

Расчетная область разбивалась на два участка, соприкасающихся между собой в горизонтальной плоскости (это плоскость 4-3-9 на рисунке 2). Нижний участок имел радиус H = 250 м, что соответствует магматическому очагу диаметром в 500 м, сверху от которого находится осесимметричная область моделирующая трещину, радиусом h = 10 м. Обе цилиндрические области имеют общую ось. Вертикальный размер области очага равнялся 500 м, начальный вертикальный размер трещины равнялся $h_e = 10 \text{ м.}$

Для верхней части расчетной области, сегмент 4-3-9-6-5-7 на рисунке 2 сопоставляемый с трещиной, применялась динамически изменяемая геометрия. При выполнении критерия растрескивания, то есть при превышении давления в вершине трещины над критическим, расчетные ячейки растягивались по вертикали с задаваемой скоростью v_c , являющейся параметром модели. Для этого использовалась библиотека динамических сеток, позволяющая во время расчета изменять геометрию расчетной области. Применялось растягивание по вертикали объема, моделирующего трещину. При этом не добавлялись новые точки, а только увеличивался вертикальный шаг между имеющимися точками. Нижняя плоскость трещины при растягивании оставалась неподвижной, а значения всех вычисляемых величин пересчитывались со старой сетки в увеличенную новую сетку. По этой причине в момент начала расчета в этой области бралось 50 точек, что представляется достаточным для удлинения трещины на расстояние порядка километра.

Величина скорости раскрытия трещины v_c выбиралась равной 60% от скорости звука во вмещающей породе. Значение этой скорости мало влияет на результаты расчетов. Расстояние, на которое удлинялся верхний объем расчетной области, моделирующий трещину, вычислялось из произведения $v_c h_t$, где h_t – шаг по времени.

Граничные условия принимались следующие: На передней 0-1-2-3-4-5-6 и задней 0-10-8-9-4-6-7 границах и на оси симметрии 0-4-6 ставились условия симме-

трии, на боковых границах 1-2-8-10, 3-5-7-9, 2-3-9-8, 5-6-7 условие непротекания $\vec{v} = 0$ и равенство нулю градиента давления $\partial p / \partial n$ в направлении вектора нормали \vec{n} к соответствующей поверхности. В плоскости 0-1-10, соответствующей наиболее глубоким слоям магматического очага, использовались условия $\partial p / \partial n = 0$, $\partial \vec{v} / \partial n = 0$ к ее нормали.

Количество использованных точек расчетной области составляло 60 по горизонтали и 50 по вертикали в нижней области, ассоциируемой с магматическим очагом, и 10 по горизонтали и 50 по вертикали в верхней области (область трещины).

Начальным условием для давления задавалось гидростатическое распределение, также задавалась плотность расплава, значения компонент скорости движения принимались равными нулю, концентрация растворенных летучих задавалась величиной $c(t=0) = c_0 = K_H p_K^{1/2}$, где p_K – давление в верхней части магматического очага.

Граничное условие для давления на нижней границе магматического очага не задавалось определенным значением (то есть не поддерживалось равным давлению в нижележащей питающей системе), а принимался равный нулю градиент давления. Давление там не опускалось существенно ниже литостатического значения равного весу вышележащей горной породы. Моделировался изолированный магматический очаг, не связанный значением давления с нижележащей питающей системой. В тоже время жидкость могла свободно проникать через нижнюю границу, благодаря равенству нулю градиента скорости на этой границе.

Граничным условием для давления в вершине трещины (на самой верхней плоскости расчетной области 5-6-7 на рисунке 2) ставилось условие равенства нулю градиента давления. Для выяснения выполнения условия растрескивания вблизи носика трещины выделялся объем трещины соответствующий 20% ее длины, где давление усреднялось и полученное значение использовалось для выяснения условия удлинения расчетной области.

Результаты расчетов

В расчетах моделировались раскрытие трещины под действием расклинивающего давления дегазирующегося магматического расплава. Вязкость, плотность и другие параметры магматического расплава выбирались соответствующими реолитовому составу.

В случае выполнения критерия раскрытия последовательность удлинений трещины моделирует процесс ее раскрытия. При этом скорость раскрытия трещины в результате серии последовательных удлинений зачастую оказывается меньше величины v_c . Это связано с тем, что после удлинения трещины давление в ней падает, и давление в ее вершине возрастает до достижения значения необходимого для дальнейшего раскрытия в течение нескольких временных шагов.

Первоначально проводился тестовый расчет в равновесном случае, когда в качестве начального условия принималось, что трещина заполнена магматическим расплавом и давление по высоте трещины является литостатическим. В этом расчете скорости движения расплава равны нулю, распределение радиусов пузырьков по высоте камеры является неравномерным: вверху они имеют несколько больший размер, внизу несколько меньший, максимальная разница незначительна. Стационарное распределение пузырьков устанавливается за несколько десятков секунд физического времени. Этот расчет являлся начальным условием для остальных вариантов расчета.

Второй вариант расчета, выполненный для тестирования (вариант 2), соответствует случаю, когда давление в верхней части магматического очага в начальный момент времени задается превышающим величину критического напряжения необходимого для раскрытия трещины. При этом вся область трещины заполнена магматическим расплавом. Расчет проводился до установления, когда скорости движения расплава перестают зависеть от времени. В результате получено, что после некоторого удлинения трещины в начале расчета растрескивание останавливается и постепенно устанавливается новое равновесное стационарное состояние. Это новое состояние соответствует новой длине трещины, новому литостатическому распределению давления в очаге. Рост пузырьков не значителен и показывает малые вариации их радиуса как внутри очага, так и внутри трещины. Объемное содержание газовой фазы не превышает 70% в течение всего расчета.

Этот вариант расчета проводился 16,85 сек физического времени численного решения системы уравнений (1–16). Раскрытие трещины прекратилось через 1,4 сек после начала расчета, в течение которых произошло около 20-ти актов удлинения трещины. Длина образовавшейся трещины составила 38,77 м. Эта высота добавилась к первоначальной длине 10 м трещины. Начальное превышение давления составило 1 МПа над значением критерия растрескивания. Выбирались несколько заниженные значения для условия растрескивания, чтобы приблизится к условиям сейсмического воздействия на трещину.

Максимальная скорость раскрытия трещины достигается приблизительно на 0,35 секунде расчета и составляет 68 м/с. Вариации давления при раскрытии трещины генерируют волны разрядки, проходящие через объем трещины и сквозь магматическую камеру, которые уменьшаясь по амплитуде и многократно отражаясь от стенок расчетной области, наблюдаются до конца расчета. Внутри магматического очага прохождение слабой волны разрядки со скоростью звука не сказывается на размере пузырьков.

Окончательные расчеты были выполнены несколько раз при разных критериях раскрытия трещины. В них моделировался случай, когда в начальный момент в области трещины (на рисунке 2 соответствует области 4-3-9-6-5-7) задается только газовая фаза с давлением равным атмосферному давлению. Остальные характеристики выбирались из тестового варианта.

Расчет проводился 22 сек времени численного решения системы (1–16). Удлинение трещины прекратилось за 1,35 сек, за это время произошло около 20-ти актов удлинения. Длина образовавшейся трещины составила 41,92 м. Эта высота добавилась к первоначальной длине трещины. Результаты этих расчетов не многим отличаются от второго тестового расчета. Можно отметить следующие различия. В начальные моменты времени внутри магматического очага на входе в пустую трещину наблюдалось интенсивное течение, и расплав на верхней границе этого течения довольно быстро закипает (за десятые доли секунды). Условие фрагментации расплава, при котором объемное содержание паровой фазы превышает 70% от объема двухфазной жидкости, соблюдается только в течение первых 1,35 сек расчета, пока трещина удлиняется. По истечении этого времени в заполняющем внутреннюю полость трещины расплаве начинает уменьшаться объемное содержание газа. За несколько секунд размеры пузырьков внутри трещины уменьшаются так,
что $\alpha_g < 0,01$. Это означает, что кипение расплава прекращается. Для дальнейшего интенсивного кипения необходимым условием является низкое окружающее давление, а при выравнивании давления в трещине до его литостатического распределения рост пузырьков прекращается. Само распределение размеров пузырьков соответствует полученному в первом варианте расчета за некоторым отличием внутри трещины.

В этом расчетном варианте более отчетливо просматривается минимум объемного содержания, который своей формой как-бы запоминает положение вихревого течения в начальные моменты раскрытия трещины. Это цилиндрически симметричное течение формой напоминает бублик. Само вихревое течение ослабевает и поднимается выше к носику трещины, где сохраняется до конца расчета (до 22-й секунды). Похожее более слабое вихревое течение имеется также на входе в трещину внутри магматического очага также сохраняющееся до 22-й секунды расчета, значительно ослабевшее относительно величин скорости в начальные моменты раскрытия трещины (первые 7 сек расчета). Объемное содержание газовой фазы незначительно выше в области магматического очага вблизи основания трещины и внутри нее, чем во всем объеме магматического очага, что сохраняется до конца расчета.

Пульсации давления при раскрытии трещины частые в начале раскрытия и более редкие к окончанию раскрытия трещины генерируют волны разрядки, которые распространяются через объем трещины и сквозь магматическую камеру. Эти волны, многократно отражаясь от стенок расчетной области, наблюдаются до конца расчета. Внутри магматического очага прохождение слабой волны разрядки со скоростью звука не сказывается на размере пузырьков.

Выводы

В результате проведенных расчетов можно сделать вывод, что если возникшая в кровле магматического очага трещина не имеет связи с дневной поверхностью и в ней не поддерживается атмосферное давление, то процесс удлинения такой трещины прекращается на некотором расстоянии от кровли. Значительного раскрытия трещины посредством механизма кипения кислого водонасыщенного магматического расплава не происходит. Одномоментного падения давления за счет образовавшейся трещины не достаточно, чтобы инициировать извержение вулкана.

Литература

1. Анфилогов В.Н., Быков В.Н., Осипов А.А. Силикатные расплавы. – М.: Наука, 2005. – 357 с.

2. Жариков В.А. Основы физической геохимии / Серия Классический университетский учебник. Изд. 2, испр. и доп. – М. – 2005. – 654 с.

3. Кедринский В.К., Давыдов М.Н., Чернов А.А., Такаяма К. Начальная стадия взрывного извержения вулканов: динамика состояния магмы в волнах разгрузки. // Доклады Академии наук, механика. – 2006. – Т. 407. № 2. – С. 190-193.

4. Лебедев Е.Б., Хитаров Н.И. Физические свойства магматических расплавов. – М.: Наука, 1979. – 200 с.

5. Морозов Н. Ф. Математические вопросы теории трещин. – М.: Наука, 1984. – 256 с.

6. Нигматулин Р.И. Динамика многофазных сред. – М.:Наука, 1987.

7. Новейший и современный вулканизм на территории России / Отв. ред. Н.П. Лаверов; Ин-т физики Земли им. О.Ю. Шмидта. – М.: Наука, 2005. – 604 с.

72

8. Ритман А. Вулканы и их деятельность. – М.: МИР, 1964. – 304 с.

9. Федотов С.А. Магматические питающие системы и механизм извержений вулканов / Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН. – М.: Наука, 2006. – 455 с.

10. Экспериментальная минералогия: некоторые итоги на рубеже столетий: в 2-х т. – М.: Наука, 2004. Т. 1-2004, 379 с., т. 2-2004, 343 с.

11. Bagdassarov N., Dingwell D. Thermal properties of vesicular rhiolite // J. Volcanol. Geotherm. Res. – 1994. – V. 60. – Pp. 179-191.

12. Gonnermann H. M., Manga M. The Fluid Mechanics Inside a Volcano // Annu. Rev. Fluid Mech. – 2007. – V. 39. – Pp. 321-356.

13. Lister J. R. Buoyancy-driven fluid fracture: the effects of material toughness and of low-viscosity precursors // J. Fluid Mech. – 1990. – V. 217. – Pp. 213-239.

14. Lyakhovsky V., Hurwitz S., Navon O. Bubble growth in rhyolitic melts: experimental and numerical investigation // Bull Volcanol. – 1996. – V. 58. – 19-32.

15. Khazan Y. M., Fialko Y. A. Fracture criteria at the tip of fluid-driven cracks in the earth // Geoph. Research Letters. September 15, 1995. – Vol. 22. No 18. – Pp. 2541-2544.

16. OpenFOAM website. Режим доступа: https://www. openfoam. com/, свободный.

MATHEMATICAL MODEL FOR INVESTIGATE THE POSSIBILITY OF A VOLCANOS ERUPTION DUE TO THE FORMATION OF A CRACK IN THE ROOF OF THE MAGMA CHAMBER

© 2018 A.A. Radionoff, Sc. Candidate (Tech.)

Southern Mathematical Institute of Vladikavkaz Scientific Centre of Russian Academy of Sciences (SMI VSC RAS), Russia, 362025, RNO-Alania, Vladikavkaz, Vatutina Str., 53, e-mail: aar200772@mail. ru

The mathematical model is used for the case when a crack appears in the roof of the magma chamber inside a volcano, the pressure in which initially is zero. The pressure drop in the magmatic chamber leads to an increase in the size of the bubbles in the magma and an increase the volume of the magmatic melt. It is shown that the opening of the crack stops at distances much less than the depth of the location of the magma chambersroof.

Keywords: mathematical model, crack opening, volcanic eruption, magmatic chamber.

References

1. Anfilogov V.N., Bykov V.N., Osipov A.A. Silikatnye rasplavy. [Silicate melts]. M. Nauka, 2005, 357 p. (in Russian)

2. Zharikov V.A. Osnovy fizicheskoj geohimii. [Fundamentals of physical geochemistry]. Serija Klassicheskij universitetskij uchebnik. Issue. 2, ispr. i dop. M. 2005. 654 p. (in Russian)

3. Kedrinskij V.K., Davydov M.N., Chernov A.A., Takajama K. Nachal'naja stadija vzryvnogo izverzhenija vulkanov: dinamika sostojanija magmy v volnah razgruzki. [The initial stage of an

explosive volcanic eruption: the dynamics of magma in waves of unloading]. Doklady Akademii nauk, mehanika. 2006. Vol. 407, No.2, Pp. 190–193. (in Russian)

4. Lebedev E.B., Hitarov N.I. Fizicheskie svojstva magmaticheskih rasplavov. [Physical properties of igneous melts]. M. Nauka, 1979, 200 p. (in Russian)

5. Morozov N.F. Matematicheskie voprosy teorii treshhin. [Mathematical problems in the theory of cracks]. M. Nauka, 1984, 256 p. (in Russian)

6. Nigmatulin R.I. Dinamika mnogofaznyh sred. [Dynamics of multiphase media]. M. Nauka, 1987. (in Russian)

7. Novejshij i sovremennyj vulkanizm na territorii Rossii. [The newest and most modern volcanism in Russia]. Otv. red. N.P. Laverov; In-t fiziki Zemli im. O.Ju. Shmidta. M. Nauka, 2005, 604 p. (in Russian)

8. Ritman A. Vulkany i ih dejatel'nost'. [Volcanoes and their activities]. M. MIR, 1964. 304 p. (in Russian)

9. Fedotov S.A. Magmaticheskie pitajushhie sistemy i mehanizm izverzhenij vulkanov. [Magmatic feeding systems and the mechanism of volcanic eruptions]. Institut vulkanologii i sejsmologii DVO RAN, M.: Nauka, 2006, 455 p. (in Russian)

10. Jeksperimental'naja mineralogija: nekotorye itogi na rubezhe stoletij: v 2-h t. [Experimental mineralogy: some results at the turn of the century: in 2 Vol.]. – M. Nauka, 2004, Vol. 1, 2004, 379 p., Vol. 2 – 2004, 343 p. (in Russian)

11. Bagdassarov N., Dingwell D. Thermal properties of vesicular rhiolite. // J. Volcanol. Geotherm. Res. – 1994. – V. 60. – Pp. 179 – 191.

12. Gonnermann H. M., Manga M. The Fluid Mechanics Inside a Volcano // Annu. Rev. Fluid Mech. – 2007. – V. 39. – Pp. 321–356.

13. Lister J.R. Buoyancy-driven fluid fracture: the effects of material toughness and of low-viscosity precursors. // J. Fluid Mech. – 1990. – V. 217. – Pp. 213–239.

14. Lyakhovsky V., Hurwitz S., Navon O. Bubble growth in rhyolitic melts: experimental and numerical investigation. // Bull Volcanol. – 1996. – V. 58. – 19–32.

15. Khazan Y.M., Fialko Y.A. Fracture criteria at the tip of fluid-driven cracks in the earth. // Geoph. Research Letters. September 15, 1995. – Vol. 22. No 18. – Pp. 2541–2544.

16. OpenFOAMwebsite. Rezhim dostupa: https://www.openfoam.com/, svobodnyj.

VДК 550.348.436 (470.45/47+470.61/62) DOI 10.23671/VNC.2018.2.14357

СЕЙСМОТЕКТОНИКА РАЗРУШИТЕЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КЕРЧЕНСКО-ТАМАНСКОГО РАЙОНА

© 2018 ВВ. Стогний, д. г.-м. н., Г.А. Стогний, д. г.-м. н.

Кубанский государственный университет, Россия, 350040, г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149, e-mail: stogny_vv@mail. ru

Рассмотрена сейсмотектоническая модель Керченско-Таманского района Крымско-Кавказского сейсмического пояса. Характерной чертой Керченско-Таманского сейсмического района является наличие разрушительных исторических землетрясений с М = 6,0-7,5 и интенсивностью до 9 баллов при отсутствии сильных сейсмических событий в инструментальный период. Эпицентры известных разрушительных землетрясений локализованы в южной части Азовского моря и в акватории Керченско-Таманского пролива, а их гипоцентры находились на глубине 15-40 км в консолидированном слое земной коры Индолокубанского блока Скифской плиты, которая Крымским и Западнокавказским разломами отделена от южнее расположенной Восточно-Черноморской плиты.

Ключевые слова: землетрясение, сейсмогенерирующий блок, земная кора, Скифская плита, Восточно-Черноморская плита.

Введение

Керченско-Таманский сейсмический район Крымско-Кавказского пояса охватывает территорию Керченского и Таманского полуостровов, акватории Азовского моря и Керченско-Таманского пролива (рис. 1), в его пределах известны разрушительные исторические землетрясения магнитудой M = 6-7 и интенсивностью 9 баллов и более при отсутствии сильных сейсмических событий в инструментальный период. Эпицентры известных исторических сейсмических событий интенсивностью более 8 Керченско-Таманского района в работе [Никонов, 2000] объединены в Южно-Азовскую и Керченскую очаговые зоны. Южно-Азовская зона включает землетрясения, произошедшие в IV–III веках и в I (63 г.) веке до нашей эры, а также в IV, X и XVIII (1751 г.) веках нашей эры. В Керченскую очаговую зону включены землетрясения V и III (275±5) веков до нашей эры и землетрясения X и XI веков нашей эры. Максимальная магнитуда землетрясений Южно-Азовской очаговой зоны оценивается в 7,7±0,7, а Керченской – в 7,2±0,3.

Юго-восточнее Керченско-Таманского сейсмического района расположен сейсмически активный Анапский район Северо-Западного Кавказа (рис. 1). Здесь зафиксированы землетрясения с M = 5,0-6,0 (09.10.1879 г., M = 5,7; 12.07.1966 г., M = 5,5; 09.11.2002 г., M = 5,0). К основной сейсмогенерирующей структуре данного района отнесён Анапский блок консолидированной коры Восточно-Черноморской плиты [Стогний, Стогний, 2017а].

Сейсмичность Крымско-Кавказского пояса с позиции плитной тектоники обычно связывается с субдукцией либо поддвигом Восточно-Черноморской плиты [Гобаренко и др., 2016; Казьмин и др., 2004]. При создании сейсмотектонической модели Керченско-Таманского сейсмического района наиболее актуальным является вопрос положения северной границы Восточно-Черноморской плиты. В связи с этим строение консолидированной земной коры Азово-Черноморского региона рассмотрено по результатам анализа геолого-геофизических материалов.



Рис. 1. Схема расположения Керченско-Таманского района разрушительных исторических землетрясений и Анапского сейсмического района Крымско-Кавказского пояса. Буквами обозначены: ВЕП – Восточно-Европейская платформа; ГК – складчатое сооружение Горного Крыма; ИКП – Индоло-Кубанский прогиб; К – Керченско-Таманский сейсмический район разрушительных исторических землетрясений; А – Анапский сейсмический район

Сейсмотектоническая модель Керченско-Таманского района

Районирование разрушительных исторических землетрясений Керченско-Таманского сейсмического района дано по [Никонов, 2000] в составе Южно-Азовской и Керченской очаговых зон. Южно-Азовская очаговая зона субширотного простирания расположена в пределах северо-восточного побережья Керченского полуострова, а Керченская зона – в пределах Керченско-Таманского пролива. Наиболее известное землетрясение Керченско-Таманского сейсмического района – это Пантикапейское 63 г. до н. э., разрушившее несколько античных городов.

Эпицентры разрушительных землетрясений Керченско-Таманского района в тектоническом отношении приурочены к Индоло-Кубанскому прогибу, который состоит из Индольской впадины (западная часть) и Западно-Кубанского прогиба (восточная часть). Индоло-Кубанский прогиб, выделенный в контурах Индолокубанского гравитационного минимума, включает также полностью Керченский полуостров (до Горного Крыма) и Таманский полуостров [Митюков и др., 2012; Starostenko et al., 2015].

Глубинное строение Индоло-Кубанского прогиба изучено по профилям ГСЗ-28, DOBRE-2 и DOBRE-5. Профиль ГСЗ-28 пересекает (с юга на север) Индоло-Кубанский прогиб, Скифскую плиту и ближайшие выходы метаморфических пород Укра-инского щита. Мощность земной коры по профилю ГСЗ-28 оценивается в 35–40 км при мощности осадочного слоя до 11 км в центральной части Индоло-Кубанского прогиба, земная кора разделена на осадочную толщу ($V_p = 2,5-4,2$ км/с) и консолидированную кору ($V_p = 6,0-6,7$ км/с) [Баранова и др., 2008].

Глубинный разрез по профилям DOBRE-2 и DOBRE-5 [Starostenko et al., 2015] представлен осадочным чехлом со скоростью продольных волн $V_p = 2,05-5,70$ км/с, складчатым комплексом Скифской плиты с $V_p = 5,72-6,00$ км/с, гранито-гнейсовым слоем с $V_p = 6,22$ км/с на его кровле, базитовым слоем с $V_p = 6,50$ км/с на его кровле базитовым слоем с $V_p = 6,50$ км/с на его кровле и границей Мохо ($V_p = 8,15-8,16$ км/с). По принятым параметрам кровля консолидированной коры под Керченским полуостровом залегает на глубине 20-22 км. Не исключено, что слой со скоростью $V_p = 5,72-6,00$ км/с и мощностью до 10 км, отождествляемый со складчатым комплексом Скифской плиты, может быть горизонтом разуплотнения верхнего гранито-гнейсового слоя консолидированной коры, то есть очаги землетрясений Южно-Азовской (глубина 20-40 км) и Керченской (глубина 10-30 км) зон находились в пределах консолидированной коры.

Неоднородности земной коры, способствующие возникновению очага землетрясений, отражаются в гравитационном и магнитном полях, в связи с этим рассмотрим положение эпицентров разрушительных землетрясений Южно-Азовской и Керченской зон по отношению к элементам геофизических полей. В структуре гравитационного поля Южно-Азовская и Керченская очаговые зоны разрушительных землетрясений в плане приурочены к южной гравитационной ступени Индолокубанского минимума амплитудой более 50 мГал и длиной до 430 км при ширине 70-100 км (рис. 2). Контуры Индолокубанского гравитационного минимума включают Индоло-Кубанский прогиб, складчатые структуры Керченского и Таманского полуостровов. Отрицательные значения Индолокубанский гравитационный минимум сохраняет и в изостатической редукции [Артемьев и др., 1972], что позволяет Индоло-Кубанский прогиб относить к областям новейших опусканий.

Южно-Азовская и Керченская очаговые зоны разрушительных землетрясений находятся в центральной части Керченско-Кубанской региональной положительной магнитной аномалии (рис. 2), которая в плане соответствует южному крутому борту Индоло-Кубанского прогиба, частично захватывая смежные с ним складчатые структуры Крыма и Большого Кавказа. Размеры аномалии по нулевой изолинии составляют: ширина до 70км, длина около 200км. Природа Керченско-Кубанской магнитной аномалии по нашему мнению обусловлена суммарным эффектом нескольких факторов: тектоническим, метаморфогенным и флюидодинамическим. Тектонический фактор – приуроченность к крутому интенсивно дислоцированному южному борту Индоло-Кубанского прогиба. Тектонические процессы способствовали метаморфизму осадочных толщ, что приводило к увеличению магнитной восприимчивости пород. Вместе с тем, Индоло-Кубанский прогиб – это нефтегазоносный район Северо-Кавказской провинции. Большая часть месторождений нефти и газа расположена вдоль его южного борта. Магнитная восприимчивость пористых, насыщенных нефтью осадочных пород при нагревании до 350° увеличивается в 20-170 раз [Кравченко и др., 2003], поэтому не исключена ведущая роль в формировании магнитной восприимчивости пород Индоло-Кубанского прогиба мантийных углеводородных флюидов.

На схеме блоковой делимости консолидированной коры Азово-Черноморского региона, разработанной по результатам комплексной интерпретации геологогеофизических материалов (рис. 3), Южно-Азовская и Керченская очаговые зоны локализованы в Индолокубанском блоке Скифской плиты, которая Крымским и Западнокавказским разломами разграничена от южнее расположенной Восточно-



Рис. 2. Положение очаговых зон разрушительных землетрясений Керченско-Таманского района в структуре гравитационного поля (фрагмент карты аномалий Буге Кавказа Мировой гравиметрической модели WGM2012) и элементов магнитного поля (WMM2015, T_a npu h = 0) Азово-Черноморского региона. Система координат Меркатора.

1 – изоаномалы поля силы тяжести, мГал; 2 – контур Керченско-Кубанской положительной магнитной аномалии; 3 – граница аномальных гравитационных областей (ВО – Восточно-Европейской, ЧО – Черноморской); 4 – очаговые зоны Керченско-Таманского сейсмического района по [Никонов, 2000]: 1 – Южно-Азовская, 2 – Керченская. Буквами обозначены локальные гравитационные максимумы (К – Крымский, Н – Новороссийский) и минимумы (И – Индолокубанский, С – Сорокинский, Т – Туапсинский)

Черноморской плиты [Стогний, Стогний, 2017б]. Эпицентры разрушительных землетрясений Индолокубанского блока Скифской плиты приурочены к южному борту Индоло-Кубанского прогиба, а их очаги расположены в области резкого уменьшения мощности земной коры от 45–55 (Керченский полуостров) до 40–35 км (Азовское море). Южные контуры Индолокубанского блока подчинены Крымскому и Западнокавказскому межплитным разломам северного падения, поэтому не исключена вероятность, что они играли существенную роль при формировании очагов землетрясений. Сейсмогенерирующей структурой Южно-Азовской очаговой зоны согласно [Чекунов и др., 1992] является Южно-Азовский разлом, практически совпадающий на отрезке шельфа Керченского полуострова с осью Индоло-Кубанского прогиба, выделенной по эпицентру Индолокубанского гравитационного минимума (рис. 3). Южно-Азовский разлом по кинематике определён как сброс у мыса Казантип и взброс (западная часть), что позволяет предположить смещение бортов Индоло-Кубанского прогиба по его оси.

В работе [Стогний, Стогний, 2017а] показана зависимость величины максимальной магнитуды землетрясений Большого Кавказа от площади сейсмогенерируюшего блока консолидированной земной коры: землетрясения с M > 6,0 локализованы в блоках площадью 100–300 тыс. кв. км. Площадь Индолокубанского блока



Рис. 3. Схема тектоники консолидированной земной коры Азово-Черноморского региона по результатам анализа геолого-геофизических данных.

 1 – межплитные разломы: 3 – Западнокавказский, К – Крымский; 2 – разломы: Б – Бурунский,
В – Восточночерноморский, Т – Таманский, Н – Новороссийский, П – Причерноморский, А – Азово-Каспийский; 3 – ось Индоло-Кубанского прогиба; 4 – очаговые зоны Керченско-Таманского сейсмического района по [Никонов, 2000]: Ю – Южно-Азовская, К – Керченская; 5 – Анапский сейсмический район. Буквами обозначены: В-Ч – Восточно-Черноморская микроплита; А-К – Азово-Каспийский блок Скифской плиты; блоки 2 порядка: Ан – Анапский, Ин – Индолокубанский, Фн – Фанагорийский

более 130 тыс. кв. км, что создавало предпосылки для накопления напряжений, необходимых для реализации землетрясений с *M* до 7,5.

Заключение

Рассмотрена сейсмотектоническая модель Керченско-Таманского района исторических разрушительных землетрясений, в основе которой лежит тезис о современной границе Восточно-Черноморской и Скифской плит (микроплит). Отличительной особенностью Керченско-Таманского сейсмического района Крымско-Кавказского пояса является то, что здесь известны разрушительные исторические землетрясения с M = 6,0-7,5 и интенсивностью до 9 баллов при отсутствии сильных сейсмических событий в инструментальный период. К Южно-Азовской очаговой зоне приурочены эпицентры разрушительных землетрясений, произошедшие в IV–

III веках и I веке (63 г.) до нашей эры и IV, X и XVIII (1751 г.) веках нашей эры, локализованные в южной части Азовского моря. К Керченской очаговой зоне приурочены эпицентры землетрясений V века до нашей эры и землетрясения III (275±5), X и XI веков нашей эры, локализованные в пределах акватории Керченско-Таманского пролива. Очаги землетрясений располагались в консолидированном слое земной коры Индолокубанского блока Скифской плиты, которая Крымским и Западнокавказским разломами ограничена от южнее расположенной Восточно-Черноморской плиты. Площадь Индолокубанского блока (более 130 тыс. кв. км) позволяет генерировать напряжения с магнитудой более 6,0.

Работа выполнена при финансовой поддержке администрации Краснодарского края и Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) по проекту № 16-45-230909 р_а.

Литература

1. Артемьев М.Е., Бунэ В.И., Камбаров Н.Ш. Использование данных о нарушениях изостатического равновесия для выделения сейсмоопасных зон Крымско-Кавказского региона // Физика Земли. – 1972. – № 11. – С. 8-27.

2. Баранова Е.П., Егорова Т.П., Омельченко В.Д. Переинтерпретация сейсмических материалов ГСЗ и гравитационное моделирование по профилям 25, 28 и 29 в Черном и Азовском морях // Геофизический журнал. – 2008. – Т. 30. № 5. – С. 124-144.

3. Гобаренко В.С., Муровская А.В., Егорова Т.П., Шеремет Е.Е. Современные коллизионные процессы на северной окраине Чёрного моря // Геотектоника. – 2016. – № 4. – С. 68-87.

4. Казьмин В. Г., Лобковский Л. И., Пустовитенко Б. Г. Современная кинематика микроплит в Черноморско-Южно-Каспийском регионе // Океанология. – 2004. – Т. 44, № 4. – С. 600-610.

5. Кравченко С. Н., Орлюк М. И., Русаков О. М. Новый подход к интерпретации региональной Западно-Черноморской магнитной аномалии // Геофизический журнал. – 2003. – Т. 25. № 2. – С. 135-144.

6. Митюков А.В., Никишин А.М., Альмендингер О.А., Болотов С.Н., Лаврищев В.А., Мясоедов Н.К., Рубцова Е.В. Седиментационная модель майкопских отложений Туапсинского прогиба в Чёрном море по данным 2D и 3D сейсморазведки и полевым работам на Западном Кавказе и в Крыму // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. – 2012. – № 2. – С. 3-13.

7. Никонов А.А. Сейсмический потенциал Крымского региона: сравнение региональных карт и параметров выявленных событий // Физика Земли. 2000. № 7. С. 53-62.

8. Стогний Г. А., Стогний В. В. Сейсмичность Большого Кавказа с позиции блоковой делимости земной коры // Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества (ЧЭС). – 2017а. – №2. – С. 86-95.

9. Стогний Г.А., Стогний В.В. Крымско-Кавказский сегмент границы Восточно-Черноморской плиты: геолого-геофизический аспект // Геофизика. – 20176. – № 6. – С. 51-55.

10. Чекунов А.В., Кутас Р.И., Пустовитенко Б.Г., Харитонов О.М. Материалы по геологии и геодинамике района строительства Крымской АЭС // Геодинамика и

сейсмопрогностические исследования на Украине. – Киев: Наук. думка, 1992. – С. 3-31.

11. Starostenko V., Janik T., Yegorova T., Farfuliak L. Seismic model of the crust and upper mantle in the Scythian platform: the DOBRE-5 profile across the north western Black Sea and Crimean peninsula // Geophys. J. Int. – 2015. – V. 201. – P. 406-428.

SEISMOTECTONICS OF THE KERCH-TAMAN REGION DESTRUCTIVE EARTHQUAKES

© 2018 V.V. Stogny, Sc. Doctor (Geol.-Min.), G.A. Stogny, Sc. Doctor (Geol.-Min.)

Kuban State University, Russia, 350040, Krasnodar, Stavropolskaya str., 149, e-mail: stogny_vv@mail. ru

Descriptions are given of the seismotectonic model of the Kerch-Taman region of the Crimean-Caucasian seismic belt. A distinctive feature of the Kerch-Taman seismic region is the existence of destructive historical earthquakes with M = 6,0-7,5 and intensity of up to 9 points in the absence of strong seismic events during the instrumental period. Epicenters of known destructive earthquakes are located in the southern part of the Azov Sea and in the Kerch-Taman Strait water area, and their hypocenters were located at the depth of 15-40 km in the consolidated layer of the Earth's crust of the Indolokuban block of the Scythian plate, which is separated by the Crimean and West Caucasian faults from East-Black Sea plates situated to the south.

Keywords: earthquake, seismogenerating block, Earth's crust, Scythian plate, East-Black Sea plate.

References

1. Artemiev M.E., Bune V.I., Kambarov N.Sh. Ispol'zovaniye dannykh o narusheniyakh izostaticheskogo ravnovesiya dlya vydeleniya seysmoopasnykh zon Krymsko-Kavkazskogo regiona [Use of data on isostatic equilibrium disturbances for seismic zone isolation in the Crimean-Caucasian region]. Fizika Zemli [Physics of the Earth], 1972, no. 11, pp. 8–27. (in Russian)

2. Baranova E.P., Egorova T.P., Omelchenko V.D. Pereinterpretatsiya seysmicheskikh materialov GSZ i gravitatsionnoye modelirovaniye po profilyam 25, 28 i 29 v Chernom i Azovskom moryakh [Reinterpretation of DSS seismic data and gravity modeling on profiles 25, 28 and 29 in the Black and Azov Seas]. Geofizicheskiy zhurnal [Geophysical Journal], 2008, vol. 30, no. 5, pp. 124–144. (in Russian)

3. Gobarenko V.S., Murovskaya A.V., Egorova T.P., Sheremet E.E. Sovremennyye kollizionnyye protsessy na severnoy okraine Chornogo morya [Modern collision processes on the northern edge of the Black Sea]. Geotektonika [Geotectonics]. 2016, no. 4, pp. 68–87. (in Russian)

4. Kazmin, V.G., Lobkovsky, L.I., Pustovitenko, B.G. Sovremennaya kinematika mikroplit v Chernomorsko-Yuzhno-Kaspiyskom regione [Modern kinematics microplates in the Black Sea-South Caspian region]. Okeanologiya [Oceanology], 2004, vol. 44, no. 4, pp. 600–610. (In Russian).

5. Kravchenko S.N, Orlyuk M.I, Rusakov O.M. Novyy podkhod k interpretatsii regional'noy Zapadno-Chernomorskoy magnitnoy anomalii [A new approach to the interpretation of the regional West-Black Sea magnetic anomaly]. Geofizicheskiy zhurnal [Geophysical Journal], 2003, vol. 25, no. 2, pp. 135–144. (in Russian)

6. Mityukov A.V, Nikishin A.M, Almendinger O.A, Bolotov S.N, Lavrischev V.A, Myasoedov N.K, Rubtsova E.V. Sedimentatsionnaya model' maykopskikh otlozheniy Tuapsinskogo progiba v Chornom more po dannym 2D i 3D seysmorazvedki i polevym rabotam na Zapadnom Kavkaze i v Krymu [Sedimentation model of the Maikop deposits of the Tuapse Trough in the Black Sea according to 2D and 3D seismic data and field work in the Western Caucasus and Crimea]. Vestn. Mosk. un-ta. Ser.4. Geologiya [Vestn. Moscow University. Ser. Geology], 2012, no. 2, pp. 3–13. (in Russian)

7. Nikonov A.A. Seysmicheskiy potentsial Krymskogo regiona: sravneniye regional'nykh kart i parametrov vyyavlennykh sobytiy [Seismic potential of the Crimean region: comparison of regional maps and parameters of detected events]. Fizika Zemli [Physics of the Earth], 2000, no. 7, pp. 53–62. (in Russian)

8. Stogniy G.A, Stogniy V.V Seysmichnost' Bol'shogo Kavkaza s pozitsii blokovoy delimosti zemnoy kory [Seismicity of the Greater Caucasus from the point of block divisibility of the Earth's crust]. Ekologicheskiy vestnik nauchnykh tsentrov Chernomorskogo ekonomicheskogo sotrudnichestva [Ecological Bulletin of Scientific Centers of the Black Sea Economic Cooperation, 2017, no. 2, pp. 86–95. (in Russian)

9. Stogniy G.A., Stogniy V.V Krymsko-Kavkazskiy segment granitsy Vostochno-Chernomorskoy plity: geologo-geofizicheskiy aspekt [Crimean-Caucasian segment of the border of the Eastern Black Sea Plate: geological and geophysical aspect]. Geofizika [Geophysics], 2017, no. 6, pp. 51–55. (in Russian)

10. Chekunov A.V., Kutas R.I., Pustovitenko B.G., Kharitonov O.M. Materialy po geologii i geodinamike rayona stroitel'stva Krymskoy AES [Materials on Geology and Geodynamics of the Crimean Nuclear Power Plant Construction Area]. Geodinamika i seysmoprognosticheskiye issledovaniya na Ukraine [Geodynamics and Seismic Prognostication Studies in Ukraine]. Kiev: Nauk. Dumka, 1992, pp. 3–31. (in Russian)

11. Starostenko V., Janik T., Yegorova T., Farfuliak L. Seismic model of the crust and upper mantle in the Scythian platform: the DOBRE-5 profile across the north western Black Sea and Crimean peninsula // Geophys. J. Int., 2015, vol. 201, pp. 406–428.

ДИСКУССИИ, ОБСУЖДЕНИЯ

VДК 551.24 (234.9) DOI 10.23671/VNC.2018.2.14358

О ПРОТИВОРЕЧИВОСТИ И НЕОБОСНОВАННОСТИ ГЛЯЦИОЛОГИЧЕСКИХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О КАТАСТРОФИЧЕСКОЙ ПУЛЬСАЦИИ ЛЕДНИКА КОЛКА, ЕЕ ПРИЧИНАХ И АНАЛОГАХ

© 2018 М.Г. Бергер, д.г.-м.н., проф.

Геофизический институт – филиал ФГБУН ФНЦ «Владикавказский научный центр Российской академии наук», Россия, 362002, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Маркова, 93a, e-mail: berger7@rambler.ru

По материалам рассмотрения обобщающих гляциологических публикаций последних лет показаны противоречивость и необоснованность гляциологических представлений о катастрофической пульсации ледника Колка 2002 года, оставленных ею следах, ее причинах, механизмах протекания и аналогах. Гляциологи, в последних работах формально принявшие негляциологическое, не экзогенное, а эндогенное решение Колкинской (Кармадонской, Геналдонской) проблемы, фактически остались на прежних ошибочных, давно опровергнутых гляциологических позициях в ее понимании. При этом в качестве аналога и эталона для сравнения принимается пульсация дагестанского долинного ледника Муркар в августе 1960 года, особенности протекания, причины и геодинамический тип (быстрая подвижка, обвал, срыв, выброс) которой достоверно не установлены и неизвестны. Затронуты вопросы о роли воды в Колкинской катастрофе, об оставленной катастрофой гигантской полости (воронке) выброса, о разлете обломочного материала продуктов разрушения ледника Колка.

Ключевые слова: ледник Колка, дагестанский ледник Муркар, Колкинская (Кармадонская, Геналдонская) катастрофа, следы (признаки), причины, аналоги, воронка выброса ледника.

Противоречивость знания есть достаточный... критерий его ложности. А.С. Кармин, Г.Г. Бернацкий

В науке нет хозяев истины и авторитетов, кроме истины и авторитета фактов и логики.

Р.Ф. Полищук

Происшедшая в течение нескольких минут 20 сентября 2002 г. крупнейшая в истории России (а по некоторым параметрам и мира) ледниковая катастрофа на леднике Колка и в Геналдонском ущелье (северный мегасклон Центрального Кавказа, Республика Северная Осетия-Алания, Россия), именуемая Кармадонской, Геналдонской или Колкинской (ниже используется последнее из этих названий – по географическому местоположению эпицентра этой катастрофы), по-прежнему привлекает к себе внимание гигантскими масштабами, уникальностью особенностей проявления, трагическими последствиями, причинами, современным состоянием и развитием ледника Колка, возможностью повторения подобной катастрофы, ожидаемым временем ее возможного повторения, возможностями и путями избежать трагических последствий подобных событий в будущем.

По всем этим и связанным с ними вопросам уже опубликованы около десяти книг (научных монографий), многие сотни научных статей, проведены международные научные конференции, защищены диссертации.

По материалам рассмотрения обобщающих гляциологических публикаций последних лет показаны противоречивость и необоснованность гляциологических представлений в данной области.

Об этом же свидетельствует предпринятое в данной работе рассмотрение и всех других вопросов. Лишь определение времени возможного повторения катастрофической пульсации ледника Колка учитывает в качестве важного параметра такой гляциологический показатель, как длительность превращения в условиях ледника Колка фирна в лед. Но и при этом в качестве исходного, основного, определяющего показателя принимается такой физико-механический параметр, как время обретения фирном ледника Колка свойств непроницаемого (газоупорного) барьера [Бергер, 2018] (а также, конечно, время возможного концентрированного прорыва под ледник достаточного количества высоконапорных глубинных поствулканических природных газов, что также определяется отнюдь не поверхностными гляциальными экзогенными процессами).

Гляциологи, в последних работах формально принявшие негляциологическое решение Колкинской проблемы, фактически остались на прежних ошибочных гляциологических позициях в ее понимании. Такая эклектичность гляциологических представлений в данной области лишь подчеркивает недопустимую внутреннюю противоречивость, нелогичность и фактическую необоснованность этих представлений и вообще несостоятельность давно опровергнутых, но все еще продолжающихся попыток решать Колкинскую проблему с гляциологических позиций, в рамках гляциологии.

В печати [Бергер, 2015 и др.] уже отмечались крайне слабая разработанность, бездоказательность, противоречивость и во многом ошибочность существующих гляциологических представлений в области изучения пульсирующих ледников. Даже для ледника Колка, одного из наиболее изученных пульсирующих ледников, и его сравнительно изученной катастрофической пульсации 2002 г. в рамках даже одной и той же работы (например, [Котляков и др., 2014а] существуют весьма противоречивые трактовки. При этом в качестве аналога и эталона для сравнения принимается пульсация дагестанского долинного ледника Муркар 20 августа 1960 г., особенности протекания и геодинамический тип (быстрая подвижка, обвал, срыв, выброс?) которой достоверно не установлены и неизвестны. Соответственно, неизвестны и ее причины (как обычно, разумеется, при наличии различных предположений и даже уверенных утверждений на этот счет).

Так, в работе [Котляков и др., 2014а, с. 159-160] о леднике Муркар и его пульсации 1960 г. говорится: «Судя по аэрофотоснимку 1957 г., темная заморененная поверхность его поднялась почти до гребней береговых морен и местами покрылась трещинами, особенно в краевых частях.

20 августа 1960 г. в селе Куруш за 15 км от ледника услышали грохот, подобный пушечным залпам, который продолжался более 30 минут. После этого небольшая

горная речка Сельды превратилась в ревущий поток, несущий обломки льда, снег и камни. Водяной вал достигал высоты 4-5 м. Ледник продвинулся на 690 м и вновь завалил днище долины Сельды на протяжении 440 м, перегородив ее ледяной стеной высотой 60 м; выше запруды образовалось временное озеро. Река в течение 20 лет находила себе путь в ледяном завале» [Котляков и др., 2014a, с. 159].

Эти данные, при всей их безусловной недостаточности, дают некоторые основания для проведения аналогий между событием в августе 1960 г. на леднике Муркар и событиями на леднике Колка в сентябре 2002 г. или в июле 1902 г. и на Девдоракском леднике в 1776 и 1832 гг., но, разумеется, не в экзогенной склоновогравитационной гляциологической или гидрогляциологической (селевой), а в эндогенной газодинамической их интерпретации – как взрывоподобного внезапного газодинамического выброса ледника.

Однако в цитируемой работе говорится [Котляков и др., 2014а, с. 160]: «Причиной этой подвижки сначала считался обвал громадных масс льда с висячего края ледниковой шапки Базардюзи в тыловой части ледника, но позже В.Ш. Цомая и И.А. Алиевым было установлено, что граница висячих ледников не изменялась и причиной пульсации ледника стала перегрузка его тыловой части лавинами [Кисин, Тертеров, 1961; Цомая, Алиев, 1987]. Очень высокая концентрация снега на небольшой части ледника (0,12 км²), ниже которой вся поверхность языка закрыта мощным чехлом морены толщиной до 1,5-2 м, препятствующей таянию и разгрузке льда, - это те же причины, как увидим далее, что приводят к регулярным пульсациям и печально известного теперь ледника Колка. В.Ш. Цомая считал, что произошла очередная пульсация ледника Муркар...» (выделено мной. – *М.Б.*).

К сожалению, далее ничего этого авторы не показывают, а вместо этого приводят противоречащие этому (и взаимно противоречивые) трактовки того, что и почему случилось на леднике Колка в 2002 г. Так, на с. 167-168 той же работы [Котляков и др., 2014а] говорится: «В последние годы районы Эльбруса и Казбека требуют особого наблюдения в связи с тем, что в их недрах обнаружены близповерхностные магматические камеры, вызывающие приток тепла к земной поверхности. Активизация вулканогенных процессов неизбежно сказывается и на ледниковом покрытии массивов. Ярким подтверждением этого был выброс из своего вместилища ледника Колка, со времени которого прошло всего 12 лет. И вдруг – новое непредвиденное событие: обвал на Девдоракском леднике стал примером проявления именно вулканической активности Казбека».

И далее [Котляков и др., 2014а, с. 175-176]: «Анализ имеющихся материалов позволяет сделать несколько основных выводов о причинах Кармадонской катастрофы.

1. Катастрофа не была очередной «закономерной» подвижкой пульсирующего ледника Колка...

3. Непосредственной причиной стремительного выброса ледника, вероятнее всего, был взрыв газов под ледником, достигших критического давления...

4. Под ледником скопилось много воды... Большие объемы воды сыграли решающую роль в отрыве всей массы ледника целиком от ложа и дальности ее выброса вниз по долине на 16 км...

6. Обвалы льда и горной породы в цирке начались с конца июля 2002 г. и к 20 сентября практически завершились, но сыграли значительную роль в подготовке подвижки. Перегрузка тыловой части ледника материалом длительных обвалов привела к нарастанию давления в подледных горизонтах и напряжений во всем его теле.

7. Ледниковая катастрофа 2002 г., вызванная в основном эндогенными причинами, - не единственная в истории долины Геналдона...».

Как видим, согласно представлениям, наконец-то (с 2014 г.), принимаемым гляциологами (но высказанным впервые отнюдь не ими еще в начале 2000-х годов [Бергер, 2003, 2004 и др.]), «непосредственной причиной стремительного выброса ледника, вероятнее всего, был взрыв газов под ледником, достигших критического давления», а не «очень высокая концентрация снега на небольшой части ледника» и не «мощный чехол морены», «препятствующей таянию и разгрузке льда», как обещали показать гляциологи [Котляков и др., 2014а, с. 160]. Правда, как эклектично продолжают все же настаивать гляциологи, «решающую роль в отрыве всей массы ледника целиком от ложа и дальности ее выброса вниз по долине на 16 км» сыграли большие объемы воды, скопившейся под ледником [Котляков и др., 2014а, с. 176]. Но вода, в любом ее количестве, безусловно, не могла вызвать, обусловить «молниеносный сход ледника Колка из своего вместилища», как определяют Колкинскую (Кармадонскую) катастрофу В.М. Котляков и другие гляциологи [Котляков и др., 2014а, с. 175]. Ни в Антарктиде, где под айсбергами целый океан воды, ни в Исландии, где подледниковые вулканические извержения приводят к возникновению огромных объемов воды под ледниками, ледники не выбрасываются стремительно из своих вместилищ на многие километры. Так что вода в любом, сколь угодно большом ее объеме (а также «высокая концентрация снега на небольшой части ледника» и «мощный чехол морены») здесь ни при чем.

* * *

Еще одним из характерных и весьма показательных примеров противоречивости, необоснованности и ошибочности представлений гляциологов о Колкинской (Кармадонской) катастрофе 2002 года и оставленных ею следах является утверждение [Котляков и др., 20146, с. 58], согласно которому «на самом деле, на пустом ложе ледника нет гигантской воронки выброса...». В то же время утверждается [Котляков и др., 20146, с. 61], что в освободившемся от ледника цирке «*открылась огромная пустая чаша*, покрытая темным обломочным материалом» (выделено мной. – M.Б.).

Очевидно, авторы цитируемой работы не представляют себе, что эта «огромная пустая чаша», открывшаяся в освободившемся от ледника цирке, по современным представлениям в области физики взрывов на выброс и внезапных выбросов [Адушкин, Спивак, 1993; Андреев и др., 2004; Баум и др., 1975; Родионов и др., 1971, 1986; Ромашов, 1980; Ходот, 1967; и мн. др.] и есть гигантская воронка выброса ледника Колка. Более подробное рассмотрение данного вопроса приведено в работе [Бергер, 2012].

Полностью ошибочно и утверждение гляциологов [Котляков и др., 20146] о том, что якобы нет «никаких признаков разлета продуктов разрушения ледника».

В связи с этим, безусловно, ошибочно предполагать отсутствие разлета обломочного материала (продуктов разрушения ледника) на высоте 300 м и объяснять его нахождение там действием волны воды при явном отсутствии ее действия на меньшей высоте.

В связи с этим возникает вопрос – как поток воды мог оказаться на высоте 300 м, если ниже, на меньшей высоте, как убедительно показано гляциологами в этой

же и других работах, его не было? Это явно противоречит существующему в гидродинамике основному закону неразрывности (непрерывности или сплошности) потока жидкости, выражающему собой закон сохранения вещества в гидродинамике [Ландау, Лифшиц, 1986]. Отсюда следует, что никакой «волны воды» на высоте 300 м не было, а обломочный материал продуктов разрушения ледника Колка был заброшен на эту высоту не водным потоком, а *по воздуху, в результате разлета* продуктов взрывоподобного газодинамического выброса ледника.

Этот и другие приведенные гляциологами факты (в частности, то, что «высоко на скалы левого склона теснины заброшен свежий черный материал сланцевой морены» [Котляков и др., 2014а, с. 66], или то, что ««примазок» льда длиной около 1300 м оказался высоко над левой береговой мореной и над тыловой частью ледника» [Котляков и др., 2014б, с. 54], да и сам «молниеносный сход ледника Колка из своего вместилища» [Котляков и др., 2014а, с. 175], его стремительный выброс, носивший, как и все внезапные взрывоподобные газодинамические выбросы, преимущественно направленный характер, были обусловлены, безусловно, не обилием воды в леднике и под ним, а действием скопившегося под ледником огромного количества высоконапорных поствулканических газов [Бергер, 2003, 2004, 2006а, б, 2007 и др.].

Помимо гляциологических, существует и множество других (в том числе довольно распространенных) бездоказательных и ошибочных представлений о причинах гигантской катастрофы на леднике Колка и в Геналдонском ущелье 20 сентября 2002 г. – от гигантского обвального удара по леднику до киносъемочных работ группы Сергея Бодрова. Анализировать их здесь мы не будем. Отметим лишь, что важнейшими причинами такого состояния проблемы Колкинской (Кармадонской, Геналдонской) катастрофы являются игнорирование и искажение относящихся к данной проблеме фактов, их необоснованная и ошибочная генетическая интерпретация и нередкое нарушение элементарной логики, что неоднократно отмечалось в печати.

Литература

1. Адушкин В.В., Спивак А.А. Геомеханика крупномасштабных взрывов. – М.: Недра, 1993. – 319 с.

2. Андреев С.Г., Бабкин А.В., Баум Ф.А., Имховик Н.А., Кобылкин И.Ф., Колпаков В.И., Ладов С.В., Одинцов В.А., Орленко Л.П., Охитин В.Н., Селиванов В.В., Соловьев В.С., Станюкович К.П., Челышев В.П., Шехтер Б.И. Физика взрыва / Под ред. Л.П. Орленко. Изд. 3-е, испр. В 2 т. Т. 1. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 832 с.

3. Баум Ф.А., Орленко Л.П., Станюкович К.П., Челышев В.П., Шехтер Б.И. Физика взрыва / Под ред. К.П. Станюковича. Изд. 2-е, перераб. – М.: Наука, Главная редакция физ.-мат. лит., 1975. – 704 с.

4. Бергер М.Г. О характере природной катастрофы 20 сентября 2002 г. на леднике Колка // Сборник научных трудов Северо-Осетинского отделения АН ВШ РФ. №1(I). – Владикавказ: Терек, 2003. – С. 16-17.

5. Бергер М.Г. Газодинамический выброс ледника Колка 20 сентября 2002 г. – новое катастрофическое природное явление // Предупреждение опасных ситуаций в высокогорных районах: Тезисы докладов Международной конференции, г. Владикавказ, 23–26 июня 2004 г. – Владикавказ: РЕМАРКО, 2004. – С. 4-5.

6. Бергер М.Г. Природная катастрофа на леднике Колка 20 сентября 2002 года – внезапный газодинамический выброс ледника // Предупреждение опасных ситуаций в высокогорных районах: Доклады Международной конференции. Владикавказ – Москва, 23–26 июня 2004 г. – Владикавказ: Олимп, 2006а. – С. 41–49.

7. Бергер М.Г. Газодинамический выброс ледника Колка 20 сентября 2002 г. // Вестник Владикавказского научного центра РАН и РСО-А. – 2006б. – Т. 6. №2. – С. 33–37.

8. Бергер М.Г. Ледник Колка: Катастрофа 20 сентября 2002 года – внезапный газодинамический выброс ледника. – М.: Изд-во ЛКИ, 2007. – 248 с.

9. Бергер М.Г. О воронке выброса ледника Колка // Геология и геофизика Юга России. – 2012. – №2. – С. 55–64.

10. Бергер М.Г. Вода, вода... (Об основной гляциологической версии причин и механизма катастрофы на леднике Колка и в Геналдонском ущелье 20 сентября 2002 года) // Геология и геофизика Юга России. – 2015. – №3. – С. 93–106.

11. Бергер М.Г. О времени возможного проявления следующей катастрофической пульсации ледника Колка // Геология и геофизика Юга России. – 2018. – №1. – С. 17–33.

12. Кисин И.М., Тертеров А.А. Обвал ледника Муркар // Природа. – 1961. – №2. – С. 66-67.

13. Котляков В.М., Рототаева О.В., Носенко Г.А., Десинов Л.В., Осокин Н.И., Чернов Р.А. Кармадонская катастрофа: что случилось и чего ждать дальше. – М.: Издательский дом «Кодекс», 2014а. – 184 с.

14. Котляков В.М., Рототаева О.В., Носенко Г.А., Чернов Р.А. Десять лет после Кармадонской катастрофы в Северной Осетии – о причинах события и процессах восстановления ледника // Известия РАН. Серия географическая. – 2014б. – №3. – С. 51–65.

15. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Гидродинамика: Теоретическая физика: т. VI. 3-е изд., перераб. – М.: Наука, Глав. ред. физ.-мат. лит., 1986. – 736 с.

16. Родионов В.Н., Адушкин В.В., Костюченко В.Н., Николаевский В.Н., Ромашов А.Н., Цветков В.М. Механический эффект подземного взрыва. – М.: Недра, 1971. – 224 с.

17. Родионов В.Н., Сизов И.А., Цветков В.М. Основы геомеханики. – М.: Недра, 1986. – 301 с.

18. Ромашов А.Н. Особенности действия крупных подземных взрывов. – М.: Недра, 1980. – 244 с.

19. Ходот В.В. Международный конгресс по проблеме внезапных выбросов газов и пород. Отчет о заграничной командировке. – М. – 1967. – 37 с.

20. Цомая В.Ш., Алиев И.А. Современное состояние ледника Муркар // Материалы гляциологических исследований. – 1987. – Вып. 60. – С. 152–155.

ON THE INCONSISTENCY AND GROUNDLESSNESS GLACIOLOGICAL IDEAS ABOUT THE CATASTROPHIC SURGE OF KOLKA GLACIER, ITS CAUSES AND ANALOGUES

© 2018 M.G. Berger, Sc. Doctor (Geol.-Min.), prof.

Geophysical institute VSC RAS, Russia, 362002, RNO-Alania, Vladikavkaz, Markov Str., 93 a, e-mail: berger7@rambler.ru

Based on the materials of consideration of generalizing glaciological publications of recent years, the inconsistency and groundlessness of glaciological ideas about the catastrophic pulsation of the Kolka glacier in 2002, the traces left by it, its causes, mechanisms of flow and analogues are shown. Glaciologists in recent works formally accepted not glaciological, not exogenous but the endogenous solution of Kolka (Karmadon, Genaldon) problems, and actually remained on the same incorrect long disproved glaciological positions in its understanding. At the same time, the pulsation of the Dagestan valley glacier Murkar in August 1960, the features of the flow, causes and geodynamic type (rapid movement, collapse, failure, release) of which are not reliably established and unknown, is taken as an analog and standard for comparison. The questions about the role of water in the Kolka catastrophe, the giant cavity (funnel) left by the catastrophe, the expansion of the debris of the products of the Kolka glacier destruction are touched upon.

Keywords: Kolka glacier, Dagestan glacier Murkar, Kolka (Karmadon,Genaldon) disaster, traces (signs), reasons, counterparts, a funnel ejection of the glacier.

References

1. Adushkin V.V., Spivak A.A. Geomehanika krupnomasshtabnyh vzryvov. [Geomechanics of large-scale explosions]. M. Ne-dra, 1993, 319 p. (in Russian)

2. Andreev S.G., Babkin A.V., Baum F.A., Imhovik N.A., Kobylkin I.F., Kolpakov V.I., Ladov S.V., Odincov V.A., Orlenko L.P., Ohitin V.N., Selivanov V.V., Solov'ev V.S., Stanjukovich K.P., Chelyshev V.P., Shehter B.I. Fizika vzryva. [Physics of explosion]. Pod red. L.P. Orlenko. Issue 3, edited. in 2 Vol, Vol.1, M. FIZMATLIT, 2004, 832 p. (in Russian)

3. Baum F.A., Orlenko L.P., Stanjukovich K.P., Chelyshev V.P., Shehter B.I. Fizika vzryva. [Physics of explosion]. Pod red. K.P. Stanjukovicha. Issue 2, edited. M. Nauka, Glavnaja redakcija fiz.-mat. lit., 1975, 704 p. (in Russian)

4. Berger M.G. O haraktere prirodnoj katastrofy 20 sentjabrja 2002 g. na lednike Kolka. [On the nature of the natural disaster on September 20, 2002 on the Kolka Glacier]. Sbornik nauchnyh trudov Severo-Osetinskogo otdelenija AN VSh RF. No.1 (I). Vladikavkaz, Terek, 2003, Pp. 16-17. (in Russian)

5. Berger M.G. Gazodinamicheskij vybros lednika Kolka 20 sentjabrja 2002 g. – novoe katastroficheskoe prirodnoe javlenie. [The gas dynamic surge of the Kolka glacier on September 20, 2002 - a new catastrophic natural phenomenon]. Preduprezhdenie opasnyh situacij v vysoko-gornyh rajonah, Tezisy dokladov Mezhdunarodnoj konferencii, g. Vladikavkaz, 23-26 ijunja 2004, Vladikavkaz, REMARKO, 2004. Pp. 4-5. (in Russian)

6. Berger M.G. Prirodnaja katastrofa na lednike Kolka 20 sentjabrja 2002 goda – vnezapnyj gazodinamicheskij vybros lednika. [The natural catastrophe on the Kolka Glacier on September 20, 2002 – a sudden gas-dynamic discharge of the glacier]. Preduprezhdenie opasnyh situacij v vysokogornyh rajonah: Doklady Mezhdunarodnoj konferencii. Vladikavkaz – Moskva, 23-26 ijunja 2004, Vladikavkaz, Olimp, 2006a, Pp. 41-49. (in Russian)

7. Berger M.G. Gazodinamicheskij vybros lednika Kolka 20 sentjabrja 2002 g. [The gas dynamic surge of the Kolka Glacier on September 20, 2002.]. Vestnik Vladikavkazskogo nauchnogo centra RAN i RSO-A, 2006b, Vol. 6, No.2, Pp. 33-37. (in Russian)

8. Berger M.G. Lednik Kolka: Katastrofa 20 sentjabrja 2002 goda – vnezapnyj gazodinamicheskij vybros lednika. [Glacier Kolka: The catastrophe of September 20, 2002 - a sudden gas-dynamic discharge of the glacier]. M. Izd-vo LKI, 2007, 248 p. (in Russian)

9. Berger M.G. O voronke vybrosa lednika Kolka. [About the crater of the Kolka glacier ejection]. Geologija i geofizika Juga Ros-sii, 2012, No.2, Pp. 55-64. (in Russian)

10. Berger M.G. Voda, voda... (Ob osnovnoj gljaciologicheskoj versii prichin i me-hanizma katastrofy na lednike Kolka i v Genaldonskom ushhel'e 20 sentjabrja 2002 goda). [Water, water ... (On the main glaciological version of the causes and mechanism of the catastrophe on the Kolka Glacier and the Genaldon Gorge on September 20, 2002)]. Geologija i geofizika Juga Rossii, 2015, No.3, Pp. 93-106. (in Russian)

11. Berger M.G. O vremeni vozmozhnogo projavlenija sledujushhej katastroficheskoj pul'sacii lednika Kolka. [On the time of possible manifestation of the next catastrophic pulsation of Kolka glacier]. Geologija i geofizika Juga Rossii, 2018, No.1, Pp. 17-33. (in Russian)

12. Kisin I.M., Terterov A.A. Obval lednika Murkar. [The collapse of the glacier Murkar]. Priroda, 1961, No.2, Pp. 66-67. (in Russian)

13. Kotljakov V.M., Rototaeva O.V., Nosenko G.A., Desinov L.V., Osokin N.I., Cher-nov R.A. Karmadonskaja katastrofa: chto sluchilos' i chego zhdat' dal'she. [Karmadon disaster: what happened and what to expect next]. M. Izdatel'skij dom "Kodeks", 2014a, 184 p. (in Russian)

14. Kotljakov V.M., Rototaeva O.V., Nosenko G.A., Chernov R.A. Desjat' let posle Karmadonskoj katastrofy v Severnoj Osetii – o prichinah sobytija i processah vossta-novlenija lednika. [Ten years after the Karmadon disaster in North Ossetia - the causes of the event and the processes of restoration of the glacier]. Izvestija RAN. Serija geograficheskaja. 2014b, No.3, Pp. 51-65. (in Russian)

15. Landau L.D., Lifshic E.M. Gidrodinamika: Teoreticheskaja fizika. [Hydrodynamics: Theoretical physics:]. Vol. VI. Issue 3., pererab. M. Nauka, Glav. red. fiz.-mat. lit., 1986, 736 p. (in Russian)

16. Rodionov V.N., Adushkin V.V., Kostjuchenko V.N., Nikolaevskij V.N., Romashov A.N., Cvetkov V.M. Mehanicheskij jeffekt podzemnogo vzryva. [Mechanical effect of underground explosion]. M. Nedra, 1971, 224 p. (in Russian)

17. Rodionov V.N., Sizov I.A., Cvetkov V.M. Osnovy geomehaniki. [Fundamentals of Geomechanics]. M. Nedra, 1986, 301 p. (in Russian)

18. Romashov A.N. Osobennosti dejstvija krupnyh podzemnyh vzryvov. [Features of the action of large underground explosions]. M. Nedra, 1980, 244 p. (in Russian)

19. Hodot V.V. Mezhdunarodnyj kongress po probleme vnezapnyh vybrosov gazov i porod. Otchet o zagranichnoj komandirovke. [International Congress on the sudden release of gases and rocks. Report on a business trip abroad]. M., 1967, 37 p. (in Russian)

20. Comaja V.Sh., Aliev I.A. Sovremennoe sostojanie lednika Murkar. [The current state of the glacier Murrar]. Materialy gljaciologicheskih issledovanij. 1987, Issue 60, Pp. 152-155. (in Russian)

НАШИ ГОСТИ

VДК 550.34 DOI 10.23671/VNC.2018.2.14359

СЕЙСМИЧЕСКОЕ ОТРАЖЕНИЕ СЛОЖНЫХ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ОРОГЕНАХ БОЛЬШОГО И МАЛОГО КАВКАЗА

© 2018 Б.В. Саакян

Институт Геофизики и инженерной сейсмологии им. А. Назарова НАН РА, Республика Армения, 3115, г. Гюмри, ул. В. Сарксяна, 5, e-mail: sahakyan_ babken@mail.ru

В работе исследуется пространственно-временное распределение сейсмических событий за период (1900–2000 гг.) по крупному сейсмическому линеаменту Эрзрум-Боржоми-Казбек (ЭБК) в геодинамике орогенах Большого и Малого Кавказа, а также установление его связи с выявленными геодезическими и морфоструктурными данными современных движений этих орогенов. Показано, что выявленные по сейсмологическим данным периоды сейсмических активизаций и заключенные между ними временные интервалы относительных сейсмических затиший, адекватно отображают выявленные по геодезическим данным кратковременные эпохи опускания и поднятия орогенов Малого и Большого Кавказа.Полученные результаты позволяют использовать сейсмологические данные для реконструкции современных движений, а также в исследованиях, направленных на решение проблемы долгосрочного прогноза землетрясения.

Ключевые слова: сейсмические события, кумулятивный график Беньофа, геодинамическая эпоха, сейсмический линеамент, сейсмотектонические деформации.

Горные сооружения Большого и Малого Кавказа расположены в зоне коллизии Аравийской и Скифской литосферных плит и подвергаются воздействию сложных геодинамических процессов, происходящих в земной коре этого региона. Многочисленные исследования геотектонического строения данного региона указывают, что Аравийская плита по двум основным шовным зонам с относительной скоростью v = 25 мм·год⁻¹ вклинивается в структуры Малого и Большого Кавказа, раздвигая Восточно-Черноморскую и Анатолийскую мезоплиты к западу, Южно-Каспийскую и Иранскую мезоплиты к востоку, а расположенные в передовой зоне Аравийской плиты Южно-Армянский и Закавказский блоки подвергаются воздействию близмеридианально направленных сжимающих напряжений [Габриеляни др., 1981; Габриелянц и др., 2002; Cisternas, Philip, 1996]. Этими процессами обусловленыструктуры региональных разломов, образующих систему выпуклых к северу дуг. Анализы стериограмм механизмов очагов сильных землетрясений указывают, что в вершинах дуг наблюдаются движения взбросо-сдвигового типа, а соответственно западные и восточные фланги разломов представляют собой левосторонние и правосторонние сдвиги [Jackson, Ambraseys, 1996] (рис. 1).

Приведенные на карте глубинных разломов эпицентры сильных землетрясений, а также многочисленные инструментальные данные более слабых сейсмических событий, происходящих на территории Кавказа, указывают на то,что на современном этапе вся эта система глубинных разломов обладает высокой сейсмической активностью, отражающая сложные современные геодинамические процессы, происходящие в глубинных горизонтах земной коры. Детальные исследования современных тектонических движенийна исследуемой территории по комплексам геодезических и геоморфологических наблюдений проведены Лилиенбергом и Ященко, в связи с изучением процессов подготовки Спитакского катастрофического землетрясения, которые выявили ряд характерных особенностей проявления геодинамических процессов в Кавказском регионе. На основе данных многократных цикличных высококлассных региональных нивелировок ими было выявлено, что на фоне общей инверсии геодинамики в орогене Малого Кавказа наблюдаются короткопериодные(20-30лет) вариации вертикальных тектонических движений, приуроченных к шовным зонам морфоструктурных блоков разного порядка. Аналогичный механизм и его взаимосвязь с вариациями сейсмичности наблюдается также для горной системы Большого Кавказа. Показано, что в пространственно-временном отношении современные вертикальные движения в этих крупных орогенах находятся как бы в противофазах: эпоха активизации сжатия и поднятия Большого Кавказа соответствует эпохе растяжения и опускания Малого Кавказа и наоборот [Балян и др., 1989; Горшков и др., 1991; Лилиенберг, Ященко, 1991]. Этот важный геодинамический вывод авторы связывают с наличием одновременно действующих в регионе сменяющихся во времени механизмами сжимающих и растягивающих тектонических напряжений. Показано, что наиболее интенсивные современные вертикальные движения наблюдаются в орогене Малого Кавказа, которые происходят со скоростями – 7–12 мм/год [Ященко, Ямбаев, 2007]. В орогене Малого Кавказа установлены эпоха опускания (1911/1929-1940/1953 гг.) и эпоха поднятия (1940/1953-1972/1974 гг.).

В настоящей работе нами была поставлена цель выявить, как отражаются эти сложные геодинамические процессы в пространственно-временном распределении сильных землетрясений в этих крупных орогенах. Для этой цели рассматривался пространственно-временной ход сейсмичности по сейсмическому линеаменту Эрзрум-Боржоми-Казбек (ЭБК), представляющий собой северную шовную зону взаимодействия Аравийской и Скифской литосферных плит (рис. 1).

Географически этот линеамент простирается от крупного Эрзрумского сейсмотектонического узла по направлению северо-восток, последовательно пересекая ороген Малого Кавказа, Рионо-Куринскую депрессию с выходом на ороген Большого Кавказа к району горы Казбек [Габриелянц и др., 2002].

Для изучения взаимосвязи вышеизложенных сложных геодинамических процессов в орогенах Большого и Малого Кавказа с сейсмичностьюрассматривалось развитие сейсмических событий в зоне динамического влияния этого крупного сейсмического линеамента, за период циклических геодезических наблюдений (1900–1995 гг.).

В качестве исходных данных были выбраны из мировых и региональных каталогов землетрясения с магнитудами величиной М>5. Таким образом, принята такая граница магнитуд, которая с одной стороны является нижним уровнем представительности сейсмичности для данного района, а с другой стороны учитывалось то



Рис. 1. Основные плитотектонические элементы Армении и сопредельных регионов 1 – направления движений литосферных плит; 2 – взбросовые и сбросовые подвижки; 3 – сдвиговые подвижки; 4 – активные глубинные разломы: североанатолийский разлом (САР) и восточноанатолийский разлом (ВАР); 5 – эпицентры землетрясений с магнитудами М>5; 6 – стериограммы известных фокальных механизмов очагов землетрясений; 7 – зона динамического влияния сейсмического линеамента Эрзрум-Боржоми-Казбек.

обстоятельство, что накопление тектонических напряжений и деформация в очаговых зонах таких землетрясений обусловлены непрерывно протекающими в земной коре сложными региональными геодинамическими процессами.

Анализ развития во времени сейсмических процессов проводился методом Беньофа, позволяющим рассматривать временной ход сейсмичности через процессы накопления и разрядки сейсмотектонических напряжений в очагах каждого из этих землетрясений. Кумулятивный график Беньофа, отображающий эти процессы, представлен на рисунке 2 [Пшеников, 1965].

На этом графике четко выделяются два периода сейсмической активизации, соответствующие интервалам 1899–1947 гг. и 1978–1992 гг. Временной период 1947– 1978 гг., в котором количество землетрясений значительно уступает двум периодам активизации, принимается как период относительного сейсмического затишья.

Первый этап сейсмической активизации, 1899–1947 гг., характеризуется большим количествам землетрясений в диапазоне магнитуд M = 5-6,3. Пространственно эпицентры этих землетрясений расположены в основном в орогене Малого Кавказа. В отличие от этого, второй период активизации 1978–1992 гг. характеризуется высвобождением накопленной сейсмической энергии за счет более сильных землетрясений, последовательно возникавшихна всем протяжении сейсмического лине-



Рис. 2. Графики Беньофа и современных движений земной коры

амента, который завершается двумя сильными землетрясениями (Рачинское 1991 г. М = 7, Барисахское 1992 г. М = 6,4) в орогене Большого Кавказа.

По данным кумулятивного графика Беньофа для всего интервала наблюдения, а также отдельных периодов сейсмической активизации и затишья, были рассчитаны скорости относительных сейсмотектонических деформаций, численные значения которых составляют соответственно $\dot{\varepsilon}_{\text{век}} \approx 0.85 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}$, $\dot{\varepsilon}_{\text{I}} \approx 0.95 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}$, $\dot{\varepsilon}_{\text{II}} \approx 0.15 \cdot 10^{-9} \text{ год}^{-1}$.

Анализ численных значений указывает, что процессы накопления и разрядки сейсмотектонических деформаций на этом сейсмическом линеаменте протекает не монотонно. Численное значение скоростей относительных деформаций за первый период сейсмической активизации соизмеримо со значением скорости относительной деформации векового хода $\dot{\epsilon}_{\text{век}} \approx \dot{\epsilon}_{\text{I}}$.

Наряду с этим, выделяются отдельные интервалы, соответствующие второму периоду сейсмической активизации и относительному сейсмическому затишью, где скорость относительных деформаций на один порядок выше ($\dot{\epsilon}_{II}$) и ниже ($\dot{\epsilon}_{3aT}$) скорости относительных деформаций векового хода. Особо следует отметить, что накопление и разрядка сейсмотектонических деформаций на первом этапе проявляются в локальном масштабе, охватывающем в основном ороген Малого Кавказа.

Иная картина наблюдается во втором периоде сейсмической активизации, в котором процессы накопления и разрядки сейсмотектонических деформаций, протекающие на региональном уровне, охватывают, как выше было указанно, весь сейсмический линеамент. Анализ временного хода сейсмичности на всем протяжении линеамента показывает, что начало обоих этапов процесса сейсмической активизации формируется в орогене Малого Кавказа (Ахалкалакское 1899 г. М = 6,3, Дманийское 1978 г. М = 5,2) и оба завершаются в орогене Большого Кавказа (Гудамакарское 1947 г. М = 5,2, Барисахское 1992 г. М = 6,4).

Исходя из этого, можно прийти к заключению, что относительно малый по размеру и соответственно более раздробленный относительно орогена Большого Кавказа ороген Малого Кавказа чувствительно реагирует на сложные региональные глубинные геодинамические процессы, происходящие в этих орогенах.

Полученные сейсмологические данные проанализированы совместнос геодезическими и морфоструктурными данными, а также сложными геодинамическими процессами, происходящими в орогене Большого и Малого Кавказа.

Для этой цели короткопериодные вариации вертикальных тектонических движений, выраженные периодами поднятий и опусканий, были сопоставлены с пространственно-временным ходом сейсмичности Беньофа (рис. 2). На графике Беньофа четко прослеживается корреляция этапов сейсмической активизации с эпохами поднятия и опускания земной коры орогена Малого Кавказа. Первый этап сейсмической активизации (1899–1947 гг.) совпадает с эпохой опускания (1911/1929– 1940/1953 гг.) в области орогена Малого Кавказа. Второй этап сейсмической активизации (1978–1992 гг.), наблюдаемый на всем протяжении сейсмического линеамента, связан с эпохой одновременного поднятия орогена Малого Кавказа и опускания орогена Большого Кавказа. Выделенный на графике Беньофа временной период относительного сейсмического затишья обусловлен процессом перехода от эпохи опускания к эпохе поднятия земной коры Малого Кавказа.

Анализы результатов работ [Геодакян, Саакян, 2014; Ященко, Ямбаев, 2007] и количественные значения современных движений земной коры в исследуемых областях показывают, что во время эпох опускания и поднятия вертикальные движения происходят с разными скоростями. Эти данные были сопоставлены с расчетными значениями относительных скоростей сейсмотектонических деформаций для этих эпох. Установлено, что эти два процесса происходят синхронно, однако в период опускания ($\dot{\epsilon}_{I} \approx 0.95 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}$, $v_{I} = -7 \text{ мм} \cdot \text{год}^{-1}$) как скорости современных движений, так и скорости относительных деформаций, на порядок меньше соответствующих значений эпохи поднятия ($\dot{\epsilon}_{II} \approx 0.5 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}$, $v_{II} = 12 \text{ мм} \cdot \text{год}^{-1}$).

Наряду с этим, скорость относительной сейсмотектонической деформации в интервале сейсмического затишья, полученная по сейсмологическим данным, соответственно на один и два порядка меньше, чем скорости относительных сейсмотектонических деформаций припервом и втором этапах сейсмических активизаций. Учитывая, что этот интервал соответствует процессу перехода от эпохи опускания к эпохе поднятия можно утверждать, что в этом интервале земная кора восстанавливает состояние неустойчивого равновесия, при котором линейная скорость вертикальных современных движений должна быть относительно незначительной. Вместе с этим, по результатам повторных нивелировок, проведенных в 1978–1981 гг. по локальным профилям, пересекающим территорию Северной Армении и Джавахетского нагорья, в эпоху общего поднятия орогена Малого Кавказа установлено, что в очаговых областях подготовки Параванского (1986 г.) и Спитакского (1988 г.) сильных землетрясений возникают аномальные кратковременные, резкие разнонаправленные изменения современных вертикальных движений. При этом на локальном участке очаговая область Параванского землетрясения опускалась с относительной скоростью – 11,3 мм/год⁻¹, в то время как область подготовки катастрофического Спитакского землетрясения сдвинулась по высоте почти на один метр, начиная с 1972 по 1988 гг. [Гоцадзе, 1984; Гоцадзе и др., 1991; Лилиенберг, Ященко, 1991; Ященко, Ямбаев, 2007]. Земная кора северо-западной части орогена Малого Кавказа, в котором расположены очаги этих землетрясений, относительно более раздроблена, состоит из разномасштабных микроблоков. Известные фокальные механизмы очагов землетрясений в этих микроблоках показывают, что под воздействием региональных тектонических напряжений эти микроблоки испытывают различные по величине и направлению вертикальные смещения.

Обобщая результаты вышеприведенного, приходим к заключению, что возникновение сильных землетрясений и их пространственно-временное распределение на сейсмическом линеаменте, несмотря на их дискретность, адекватны геодезическим и морфоструктурным данным наблюдений эпох опускания и поднятия современных движений в орогенах Большого и Малого Кавказа.

Полученные по сейсмологическим данным, характерные особенности проявления современных движений на линеаменте ЭБК позволяют использовать их для реконструкции этих движений в периоды отсутствия геодезических и морфоструктурных данных, а также в исследованиях, направленных на решение проблемы долгосрочного прогноза землетрясения на этом важном региональном сейсмическом линеаменте.

Литература

1. Балян С.П., Лилиенберг Д.А., Милановский Е.Е. Новейшая и современная тектоника сейсмоактивных орогенов Армении и района Спитакского землетрясения // Геоморфология. – 1989. – №4. – С. 3–15.

2. Габриелян А.А., Саркисян О.А., Симонян Г.П. Сейсмотектоника Армянской ССР. – Ереван: Изд-во Ереван. ун-та, 1981. – 284с.

3. Габриелянц Г.А., Клешев К.А., Шеин В.С. Возможно нефтегазоносные бассейны Армении и их углеводородный потенциал // Геология нефти и газа. – 2002. – №1. – С. 21–30.

4. Геодакян Э.Г., Саакян Б.В. Сейсмогеодинамические процессы на территории Северной Армении // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы девятой международной сейсмологической школы. Республика Армения, 8–12 сентября 2014 г. Обнинск-2014. – С. 122–126.

5. Горшков А.И., Жидков М.П., Ранзман Е.Я., Тумаркин А.Г. Морфоструктура Малого Кавказа и места возможных землетрясений (М≥5,5) // Физика Земли. – 1991. – №6. – С.30–36.

6. Гоцадзе О.Д. Построение сейсмических линеаментов и оценка основных эффектов сейсмичности Кавказа // Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора физико-математических наук. – Тбилиси. – 1984. – С.38.

7. Гоцадзе О.Д., Джибладзе Э.А., Папалашвили В.Г., Геодакян Э.Г. и др. Параванское землетрясение 13 мая 1986 г. – М.: Наука, 1991. – С.122.

8. Лилиенберг Д.А., Ященко В.Р. Анализ геодезических и морфоструктурных данных района катастрофического землетрясения в Армении // Геоморфология. – 1991. – №3. – С.23–28.

9. Пшеников К.В. Механизм возникновения афтершоков и неупругие свойства земной коры. – М.: Наука, 1965. – 87с.

10. Ященко В.Р., Ямбаев Х.К. Геодезический мониторинг движений земной коры (по материалам Кавказского региона). – М.: Изд-во МИИГАиК, 2007.– 208с.

11. Cisternas A., Philip H. Seismotectonics of the Mediterranean region and the Caucasus. Historical and Prehistorical Earthquakes in the Caucasus // NATO ASI Series. Yerevan, Armenia July 11–15, 1996. – Pp.313–333.

12. Jackson J.A., Ambraseys N.N. Convergence between Eurasia and Arabia in Eastern Turkey and the Caucasus. Historical and Prehistorical Earthquakes in the Caucasus // NATO ASI Series. Yerevan, Armenia July 11–15, 1996. – Pp.79–91.

SEISMIC REFLECTION OF COMPLEX GEODYNAMIC PROCESSES IN THE OROGENES OF THE GREATER AND LESSER CAUCASUS

© 2018 B.V. Sahakyan

Institute of Geophysics and Engineering Seismology after A. Nazarov of NAS RA, Republic of Armenia, 3115, Gyumri, V. Sarksyan Str., 5, e-mail:sahakyan_babken@ mail.ru

Within the following paper reflections of the space-time development of seismisity for the period (1900–2000) on the large Erzurum-Borzhomi-Kazbeki (EBK) seismic lineament in the geodynamics of the orogenes of the Greater and Lesser Caucasus are considered, as well as its relation to the identified geodetic and morphostructural data of modern movements of these orogens. Seismic activation periods obtained through seismological data and the time intervals of relative seismic calm concluded between them adequately reflect the short-term epochs of lowering and raising the orogens of the Lesser and Greater Caucasus, identified by geodetic data. The obtained results allow using seismological data for the reconstruction of modern movements, as well as in studies aimed at solving the problem of long-term earthquake prediction.

Keywords:seismic events, cumulative graph of Benioff,geodynamic epoch,seismic lineament, seismic deformities.

References

1. Baljan S.P., Lilienberg D.A., Milanovskij E.E. Novejshaja i sovremennaja tektonika sejsmoaktivnyh orogenov Armenii i rajona Spitakskogo zemletrjasenija. [The newest and most modern tectonics of seismoactive orogenes of Armenia and the Spitak earthquake region]. Geomorfologija. 1989, No.4, Pp. 3–15. (in Russian)

2. Gabrieljan A.A., Sarkisjan O.A., Simonjan G.P. Sejsmotektonika Armjanskoj SSR. [Seismotectonics of the Armenian SSR]. Erevan: Izd-vo Erevan. un-ta, 1981, 284 p. (in Russian)

3. Gabrieljanc G.A., Kleshev K.A., Shein V.S. Vozmozhno neftegazonosnye bassejny Armenii i ih uglevodorodnyh potencial. [Possible oil and gas bearing basins of Armenia and their hydrocarbon potential]. Geologija nefti i gaza. 2002, No.1, Pp. 21–30. (in Russian)

4. Geodakjan Je.G., Saakjan B.V. Sejsmogeodinamicheskie processy na territorii Severnoj Armenii. [Seismogeodynamic processes in the territory of Northern Armenia]. Sovremennye metody obrabotki i interpretacii sejsmologicheskih dannyh. Materialy devjatoj mezhdunarodnoj sejsmologicheskoj shkoly. Respublika Armenija, 8–12 sentjabrja 2014 g. Obninsk-2014, Pp. 122–126. (in Russian)

5. Gorshkov A.I., Zhidkov M.P., Ranzman E.Ja., Tumarkin A.G. Morfostruktura Malogo Kavkaza i mesta vozmozhnyh zemletrjasenij ($M \ge 5,5$). [Morphostructure of the Lesser Caucasus and the location of possible earthquakes ($M \ge 5.5$)]. Fizika Zemli, 1991, No.6, Pp. 30–36. (in Russian)

6. Gocadze O.D. Postroenie sejsmicheskih lineamentov i ocenka osnovnyh jeffektov sejsmichnosti Kavkaza. [Construction of seismic lineaments and assessment of the main effects of seismicity in the Caucasus]. Avtoreferat dissertacii po soiskanie uchenoj stepeni doktora fiziko-matematicheskih nauk. Tbilisi. 1984, 38 p. (in Russian)

7. Gocadze O.D., Dzhibladze Je.A., Papalashvili V.G., Geodakjan Je.G. i dr. Paravanskoe zemletrjasenie 13 maja 1986 g. [The Parawan earthquake of May 13, 1986.]. M. Nauka, 1991, 122 p. (in Russian)

8. Lilienberg D.A., Jashhenko V.R. Analiz geodezicheskih i morfostrukturnyh dannyh rajona katastroficheskogo zemletrjasenija v Armenii. [Analysis of geodetic and morphostructural data of the region of the catastrophic earthquake in Armenia]. Geomorfologija. 1991, No.3, Pp. 23–28. (in Russian)

9. Pshenikov K.V. Mehanizm vozniknovenija aftershokov i neuprugie svojstva zemnoj kory. [The mechanism of occurrence of aftershocks and inelastic properties of the earth's crust.]. M. Nauka, 1965, 87 p. (in Russian)

10. Jashhenko V.R., Jambaev H.K. Geodezicheskij monitoring dvizhenij zemnoj kory (po materialam Kavkazskogo regiona). [Geodetic monitoring of movements of the earth's crust (based on the materials of the Caucasian region).]. M. Izd-vo MIIGAiK, 2007, 208 p. (in Russian)

11. Cisternas A., Philip H. Seismotectonics of the Mediterranean region and the Caucasus. Historical and Prehistorical Earthquakes in the Caucasus // NATO ASI Series. Yerevan, Armenia July 11–15, 1996. – Pp. 313–333.

12. Jackson J.A., Ambraseys N.N. Convergence between Eurasia and Arabia in Eastern Turkey and the Caucasus. Historical and Prehistorical Earthquakes in the Caucasus// NATO ASI Series. Yerevan, Armenia July 11–15, 1996. – Pp. 79–91.

VДК 55:366.1 DOI 10.23671/VNC.2018.2.14360

NATURAL HAZARDS AND DISASTERS IN MOUNTAIN AREAS

© 2018 V.B. Svalova¹, Sc. Candidate (Phyth.-Math.), V.B. Zaalishvili², Sc. Doctor (Phyth.-Math.), prof., G.P. Ganapathy³, Prof. & Director, Phd, A.V. Nikolaev⁴, Sc. Doctor (Phyth.-Math.), prof.

¹Sergeev Institute of Environmental Geoscience of the RAS, Russia, 101000, Moscow, Ulansky pereulok, 13, building 2;

²Geophysical institute VSC RAS, Russia, 362002, RNO-Alania, Vladikavkaz, Markov Str., 93 a, e-mail: cgi_ras@mail.ru;

³Centre for Disaster Mitigation and Management, Vellore Institute of Technology, India, 632014, Vellore, Tamil Nadu, e-mail:gpganapathy@vit.ac.in;

⁴Schmidt Institute of Physics of the Earth of the RAS, Russia, 123995, Moscow, Bolshaya Gruzinskaya Str., 10, e-mail: nikavs1@gmail. com

Mountainous and coastal areas are the most affected regions for natural hazards. Certain mountainous areas are vulnerable to landslides but have also been affected by earthquakes. When an earthquake occurs in such areas, the risks for a landslide to occur grow tremendously. Natural hazards cause huge damage in the world and kill many people each year. The concept of natural risk can be successfully used for natural hazards analysis and reduction.

Mountain and foothill areas of Northern Caucasus are located in the zone of alpine tectonomagmatic activation of Greater Caucasus and they characterized by intense geodynamic processes, the presence of active volcanoes, pulsating glaciers high seismicity (9-10 points) and broadest development of geohazards with different genetic types.

The problem of seismic hazard and risk assessment of the North Caucasus is genetically related to the activity of the Greater Caucasus, the strongest seismic events of which play a determining role for some regions of the North Caucasus.

Keywords: geological hazards, volcano, earthquake, landslide, seismic hazard, seismic risk, insurance.

NATURAL HAZARDS AND DISASTERS

Natural hazards are potentially damaging physical events and phenomena, which may cause the loss of life, injury or human life disruption, property damage, social, economic, and political disruption, or environmental degradation.

Natural hazards can be divided into different groups: geological, hydro-meteorological, climatological, outer space, and biological hazards.

Natural hazards can be single, multiple, regional and global in space. Each natural hazard is characterized by its location, intensity and probability.

A disaster is a serious disruption of the normal functioning of a society causing widespread human, material, economic or environmental losses. A disaster results from the combination of hazards, conditions of vulnerability and insufficient capacity or measures to reduce the potential negative consequences of risk, and exposure.

For the last 35 years the frequency of the disasters associated with natural hazard events has been steadily increasing. An average number of 405 events per year was registered by Munich Re in 1980-1989, 650 events in the 1990s, 780 events for the period of 2000-2009, and more than 800 events in the 2010s [Wirtz et al., 2014]. Figures 1-6 shows

that total number of disasters increase, but number of geological disasters has not been much changed for the last 30 years compared to the number of hydro-meteorological and climatological events. Victims and economic damage increase drastically.



Fig. 1. Annual number of disasters associated with natural events from 1980 to 2013. 1: red color marks geological events; 2: green meteorological events; 3: blue hydrological events; and 4: orange climatological events (NatCatSERVICE, Munich Re, 2014).



Fig. 2. Total number of natural disasters, 1900-2016. http://emdat. be/.



Fig. 3. Total deaths caused by natural disasters, 1900-2016. http://emdat. be/.



Fig. 4. Total affected persons by natural disasters, 1900-2016. http://emdat. be/.



Fig. 5. Total economic damage caused by natural disasters, 1900-2016. http://emdat. be/.



Fig. 6. Total economic damage (scaled to 2014) by natural disasters, 1960-2016. http://emdat. be/.

Earthquakes, volcano eruptions, tsunamis, curst, suffusion, coast erosion, and landslides belong to geological hazards [Kutepov et al., 2002; Osipov et al., 2002; Svalova, 2011a].

According to the global risk analysis carried out by the World Bank, an area of about 10 million km², the equivalent of 7,5% of the total area of the planet, is estimated to have a 10% probability of peak ground acceleration (intensity of ground shaking) of at least 2 m s-2 in a 50-year period. This area is inhabited by approximately 1,2 billion people, that is 20% of the world population.

Volcanic activity is concentrated on about 0,4 million km² with a 93 million population potentially affected, particularly in countries such as Iceland, Japan, the Philippines, Indonesia, the United States, Mexico, Central America, Colombia, Ecuador, and Chile.

3,7 million km² of land are susceptible to sliding, while the population exposed is in the order of 300 million. Areas of high risk of landslides are inhabited by 66 million of inhabitants, occupying a land surface of 820,000 km².

Mountainous and coastal areas are the most affected regions, but that does not mean that the other areas are safe.

Landslides cause huge damage in the world and kill many people each year. Casualties are caused by rock slides, rock falls and debris falls. In order to know this phenomenon better, and eventually protect themselves from its destructive action, people should be aware of how landslides are formed and how they act [Edison et al., 2016; Elayaraja et al., 2015; Ganapathy, Rajawat, 2015].

The word "»landslide» describes different processes that have as a result the movements of materials like soil, rock, earth, mud, debris, artificial fill, snow, ice, ash, combination of these materials and others.

When these materials start moving, they may be falling, toppling, sliding, spreading, flowing and others. According to the moving trajectory the landslides could be rotational or translational. There are some specific types of slides or mass movements as lahars, solifluction, avalanches, glaciers and others.

Landslides are associated with mountainous areas, but they also affect low relief areas. In this case the trigger factors could be failures determined by building or roadway excavations, collapse of mine piles, slope failures associated with quarries, lateral spreading landslides, river bluff failures and others.

Depending on the location and type of human activity, the landslide effect could be lessened. People should know hazard zones and avoid activities like digging in such areas.

14 million of people are exposed to tsunamis. The major potentially affected areas are located along the coasts of countries facing the oceans and seas (UNISDR 2009).

Millions of human lives are lost due to earthquakes and volcano eruptions, and property damage has exceeded hundreds of billions USD. It is not possible to make reliable earthquake forecast now, but there exist a few success examples. It is possible to estimate the vulnerability of territories to the possible earthquake hazard and means are available to develop earthquake resilient societies.

'Earthquake early warning' is the rapid detection of earthquake in progress and alerting people of the ground shaking that could be hazardous. Application of this technique has demonstrated its usefulness. Developing earthquake scenarios, as what would happen if an earthquake repeats, where it had occurred in the past, is also very effective in developing earthquake resilient societies.

Societal impacts of volcanic eruptions (e. g., damages, disruptions, severe health problems) are associated with ash fall, lava flows, gases, hot ash clouds, lahars and related hazard to aviation. Predicting of a volcanic eruption is an interdisciplinary science where continuous observation of a number of parameters such as volcanic earthquakes (volcano seismology), changes in ground conditions (geodesy, magnetic studies), ground water (hydrology) etc. provide a clue of the forthcoming eruption.

While the earthquakes, volcanoes or landslides take place on specific areas, the effects of tsunamis are widely distributed in space and time, and consequences can be global, as it was the case of the 2004 Sumatra earthquake-induced tsunami, which affected a number of countries around the Indian Ocean.

A global tsunami warning system was set up to tackle with the challenging problems of tsunami disasters. Also local and regional warning systems generate scientific-based information. Scientific modeling and tsunami forecasting are still to be improved so that the time available between warning and action can be used in the best possible way.

HYDRO-METEOROLOGICAL AND CLIMATOLOGICAL HAZARDS/DISASTERS

Hydro-meteorological and climatological hazards are the most frequent causes of the disaster events among all natural hazards (Fig. 1-6). The most common meteorological hazards are heavy rains, storms, hurricanes, droughts, tropical cyclones, rainstorm floods, heat waves and low temperature disasters. Moreover, meteorological hazards include lightning, tornadoes, dust storms, hail, frost, fog, and haze. Some hazards, such as drought span the weather to climate continuum extending for seasons and even decades. Although extreme weather and climate events occur infrequently, they impose great impacts on environment including socio-economic impacts and livelihood impacts. Adverse impacts from weather and climate extremes can be considered meteorological disasters when they produce widespread damage and cause severe alterations in the normal functioning of communities or societies. The severity of meteorological disasters depends not only on the extremes themselves but also on exposure and vulnerability.

The breakdown of all disasters associated with natural events worldwide from 1980 to 2011 by regions is illustrated in Figure 7. Figures 8-13 show maps of some natural disasters in the world. Almost 2/3 of all fatalities (about 1,5 million) as well as 40% of all events (8,080) occurred in Asia and the Pacific (Australia/Oceania). As far as economic losses are concerned, Asia and the Pacific is also leading with 45% with North America incl. Central America and Caribbean ranks second with 37% of total losses. There is a different aspect of catastrophes in Africa. Although only 9% of all events occur in Africa, more than 1/4 of all fatalities are registered on this continent. A comparison of the loss events and fatalities shows that the regions with economically less-developed countries have more fatalities [Wirtz et al., 2014].



Fig. 7. Regional distribution (in per cents) of loss events (total 20,200), fatalities (total 2,275,000), and losses (total USD 3,530 billion in 2011 values) for 1980-2011 (NatCatSERVICE [Wirtz et al., 2014].



Fig. 8. Number of natural disaster by country, 1986-2015. http://emdat.be/.



Fig. 9. Number of flood by country, 1986-2015. http://emdat. be/.



Fig. 10. Number of storm by country, 1986-2015. http://emdat.be/.



Fig. 11. Number of earthquake by country, 1986-2015. <u>http://emdat. be/</u>.



Fig. 12. Number of landslide by country, 1986-2015. http://emdat. be/.


Fig. 13. Number of volcanic activity by country, 1986-2015. http://emdat. be/.

NATURAL RISK

For systematic analysis of landslide hazard it is fruitful to use the notion of risk [Corominas et al., 2014; Rφgozhin, 2003; Slavova, 2011b, 2014, 2016a – c, 2017a, b, 2018; Vranken et al., 2015].

Geological risk is a relatively new and not fully explored concept. There are many definitions of geological risk. And often scientific study or scientific approach to the problem begins with a presentation of the author's position and the choice of the definition of geological risk for the problem under consideration. One of the most common approache defines that risk is the expectation of the damage, or risk is the product of the probability of possible hazardous events on the damage produced by.

The problem of landslide risk management is considered as measures leading to landslides risk reduction. It includes landslides monitoring, mapping, landslide forecast, engineering works, slopes strengthen, insurance and others. Strictly speaking, geological risk management includes:

- 1) Hazard Identification;
- 2) Vulnerability evaluation;
- 3) Risk analysis;
- 4) Concept of acceptable risk;
- 5) Risk assessment;
- 6) Risk mapping;
- 7) Measures for risk reduction:

- legislative;
- organizational and administrative;
- economic, including insurance;
- engineering and technical;
- modeling;
- monitoring.
- information.

It is the responsibility of the local governments to establish rules meant to reduce the effects of eventual landslides. Land-use regulations and policies are required in areas that are prone to landslides. The absence of such regulations and destructive human activities are among the main factors that favor a landslide.

Whenever a landslide occurs, no matter if it is caused by slope saturation with water, seismic activity or a volcanic eruption, the damages are disastrous. Thousands of house-holds may be swept away or buried in mud and tens to hundreds of people could lose their lives.

This apocalyptic image should make local governments pay more attention to the prevention of such natural phenomena. It is important for a local government to know which areas are prone to landslides and take appropriate measures in order to reduce vulnerability to such hazards.

Vulnerability to landslides depends on location, frequency of landslide events, type of human activity in the area and other factors.

The effects on people and buildings can be lessened if hazardous areas are avoided or if activities in such areas are restricted or deployed under certain conditions. Local governments are responsible for land-use policies and other regulations meant to reduce the risks for landslides to take place.

Exposure to hazards may be reduced if individuals educate themselves on the past history of these phenomena. Departments of local governments that are responsible with planning and engineering may help a lot with their advice.

People can also benefit from the professional services of engineering geologists, civil engineers, or geotechnical engineers, all qualified to evaluate the potential of a hazardous site.

Due to the huge losses that landslides imply, their prevention is of maximum importance for all the people living in the area of hazard. Preventing a landslide from causing material damage and human losses should be a main goal of local authorities.

WORLD CONFERENCE ON DISASTER RISK REDUCTION

The World Conference on Disaster Risk Reduction is a series of United Nations conferences focusing on disaster and climate risk management in the context of sustainable development.

There were 3 Conferences: in Yokohama in 1994, in Kobe in 2005 and in Sendai in 2015. As requested by the UN General Assembly, the United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNISDR- United Nations International Strategy for Disaster Reduction) served as the coordinating body for the Second and Third UN World Conference on Disaster Reduction in 2005 and 2015.

The conferences bring together government officials and other stakeholders, such as NGOs, civil society organizations, local government and private sector representatives

from around the world to discuss how to strengthen the sustainability of development by managing disaster and climate risks. The Third UN World conference adopted the Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030. Previous conference outcomes include the Hyogo Framework for Action 2005-2015: Building the Resilience of Nations and Communities to Disasters in 2005 and the Yokohama Strategy and Plan of Action for a Safer World in 1994.

The Third United Nations World Conference on Disaster Risk Reduction was held in Sendai, Japan from 14 to 18 March 2015, drawing 6,500 delegates to the conference itself and 50,000 people to the associated Public Forum. Sendai is the largest city of Miyagi Prefecture, in north-eastern Japan. It has a prominent status as it was hit by the Great East Japan earthquake (11 March 2011), 130 kilometres from the epicentre. The conference included discussion of the aftermath of the Japanese response to the 2011 disaster and how Japan's early warning system can save lives when earthquakes and tsunamis strike. The conference included an announcement of a US\$4 billion fund to prepare for disasters over four years. The conference adopted the Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030. The Sendai Framework is the first major agreement of the post-2015 development agenda, with seven targets and four priorities for action. It was endorsed by the UN General Assembly in June 2015.

HAZARDOUS GEOLOGICAL PROCESSES OF THE NORTH CAUCASUS

Mountain and foothill areas of Northern Caucasus are located in the zone of alpine tectonomagmatic activation of Greater Caucasus and they characterized by intense geodynamic processes, the presence of active volcanoes, pulsating glaciers high seismicity (9-10 points) and broadest development of geohazards with different genetic types.

In the zone of their impact there are populated areas, economic objects and elements of infrastructure life support (roads, power lines, communication wires).

The economic damage from their annual impact is determined by billions of rubles and it is often accompanied by human casualties.

The negative impact of exogenous geological processes is greatly amplified against the background of actively developing endogenous processes (volcanoes, seismic).

Undoubtedly, among the most hazardous and all-threatening processes, the first place, is taken by endogenous processes which manifest themselves sporadically, but their destructive power is enormous. [Shempelev et al., 2017; Zaalishvili, 2017; Zaalishvili et al., 2017a]

Volcanoes. According to different researchers there are two active volcanoes in the considered territory erupting in historical time – the volcanoes Elbrus and Kazbek.

Remains of Lahars are traced on 50-70 km downstream of the Baksan and Malka rivers, as a result of the Elbrus volcano activity.

The zone of negative influence in the form of flooding is much wider.

The same applies to the volcano Kazbek, in the zone of its impact, is located city of Vladikavkaz.

Geodynamic processes. The mountain system of the Greater Caucasus experiences vertical movements (uplifts) on average 2-3 mm per year. The individual, most active its parts move at a speed of up to 12-15 mm per year. These include the intensively dislocated geological blocks of Elbrus and Kazbek. Moving of individual rocks plates in their contours occurs along the latest tectonic zones, and thus creates enormous stresses in rock formations, which unloading leads to earthquakes and landslides.

Breakthroughs of pond water accumulators. From exogenous and glaciological processes for their unpredictability and the catastrophic effects as the most hazardous should be considered breakthroughs of pond water accumulators occurring in the result of overlapping channels watercourses landslide by mudflow and ice sediments.

Pulsating glaciers. To date, there are 12 pulsating glaciers in the North Caucasus, of which two (Kolka and Devdorak) have intensified several times in the historical period.

In the opinion of most researchers, the effect of pulsation (accelerated motion of ice masses) depends on the accumulation of critical ice masses under backwater conditions. The most typical pulsating glacier is Kolka whose ice masses, reaching critical mass, begin to move at a speed of 100-200 m per day. Depending on the time of year the activation takes place either in a peaceful (October 1969, January 1970), or catastrophic way, with the formation of water-ice-rock mudflows of breakthrough type (1902, 2002).

The most hazardous pulsating glacier is Devdorak that is located on the territory of Georgia, in the case of activation it may block the Terek river (like the events of 1834) and in the event of the breakthrough the water masses can become a source of increased hazard for the downstream settlements, including the city of Vladikavkaz.

Mud flows. The mud flows throughout the territory cause the largest annual damage to the economy and human settlements. In the mountainous part of the Southern Federal District there are thousands of them with different genetics, morphology and volumes of a single emission of a solid component.

Up to 30% of individual subjects in mountain areas of the Federation of the Southern Federal District are affected by mudflows.

Floods. At anomalously high levels of precipitation with flood waters are affected, not only the mountain and foothill parts of the North Caucasus, but also in a significant part plain areas.

Territories that have undergone maximum impact of the nature require immediate reassessment of damage by hazardous processes and, if necessary, emergency relocation of individual settlements.

Landslides. This type of hazardous geological processes has the widest distribution in the North Caucasus.

The total number of landslides is determined by many thousands. Suffice it to say that only in the coastal Black Sea strip with a width of 1 to 4 km in the interval from Anapa to Adler, were recorded more than 1000 landslides.

Landslide activation in zone of Advanced ridges that is constructed by younger rocks of Neogene and upper Palaeogene (clay, sand, sandy loam, loam, and marl etc.) under active elevations and development of folded bearing structures, has catastrophic areal character with moving large volumes of bedrock.

Avalanches. Despite the seasonal nature of the impact of avalanches, they cause great economic damage throughout the mountainous part of the North Caucasus.

Every year in the North Caucasus, people are killed by avalanches. Thus for the period of Transkam operation since 1986, more than 100 people died.

Collapses. Tragic events on September 20, 2002 in the Republic of North Ossetia-Alania have shown that in the North Caucasus there is rarely a special type of hazardous geological processes, which has nothing in common with the pulsation of glaciers in their traditional form, when the speeds of moving ice masses (up to 200 m / day) provide a chance to carry out activities to protect the public. Even in the preliminary analysis of the territory of the mountainous part of the North Caucasus, can be clearly marked areas with the conditions for the formation of such catastrophic collapses and with traces of paleocollapses.

Seismic hazard and seismic risk. In accordance with the map of seismic zoning of the territory of Russia (OSR-97), the mountain and foothill areas of the North Caucasus are in the zone of increased seismic risk.

The territory acquired an important economic importance in the Russian economic system, which marked the rapid growth of industry and agro-industrial complex in the region, the development of urban agglomerations, and the growth of investments in the development of the economy. At the same time, the considered region is characterized by a high intensity of dynamic geological processes and the associated hazards of both natural and anthropogenic nature. The most significant among these hazards is seismicity, accompanied by a wide range of secondary processes. The numerous seismogravitational phenomena, such as landslides, collapses, stone and mud avalanches observed in the mountainous regions of Racha and South Ossetia during the Racha earthquake (1991), can be noted as an example of such hazards. [Chachava et al., 2017 a – c; Zaalishvili et al., 2017b]

The problem of seismic hazard and risk assessment of the North Caucasus is genetically related to the activity of the Greater Caucasus, the strongest seismic events of which play a determining role for some regions of the North Caucasus. In most of this area earthquakes of magnitude M-6 can occur, and in seismogenic structures, seismic events with a maximum magnitude M = 7 and higher are expected. To areas with such high magnitudes after the Racha earthquake of 1991. belong the central and eastern parts of the Greater Caucasus. At the same time, in general, the Greater Caucasus zone is a zone of moderate seismicity. Although no events with M > 7,0 were recorded during the period of instrumental observations in this region, from the point of view of seismic effect this region is characterized by high engineering and geological hazards.

SENDAI FRAMEWORK FOR DISASTER RISK REDUCTION 2015-2030

The Sendai Framework is a 15-year non-binding agreement which recognizes that the State has the primary role to reduce disaster risk but that responsibility should be shared with other stakeholders including local government and the private sector. It aims for the following outcome:

"The substantial reduction of disaster risk and losses in lives, livelihoods and health and in the economic, physical, social, cultural and environmental assets of persons, businesses, communities and countries."

The Sendai Framework emerged from three years' of consultations and negotiations, supported and coordinated by UNISDR, during which UN member states, NGOs and other stakeholders made calls for an improved version of the existing Hyogo Framework, with a set of common standards, a comprehensive framework with achievable targets, and a legally-based instrument for disaster risk reduction.

The Sendai Framework sets four specific priorities for action:

- 1) Understanding disaster risk;
- 2) Strengthening disaster risk governance to manage disaster risk;
- 3) Investing in disaster risk reduction for resilience;

4) Enhancing disaster preparedness for effective response, and to "Build Back Better" in recovery, rehabilitation and reconstruction.

To support the assessment of global progress in achieving the outcome and goal of the Sendai Framework, seven global targets have been agreed:

1) Substantially reduce global disaster mortality by 2030, aiming to lower average per 100,000 global mortality between 2020-2030 compared to 2005-2015;

2) Substantially reduce the number of affected people globally by 2030, aiming to lower the average global figure per 100,000 between 2020-2030 compared to 2005-2015;

3) Reduce direct disaster economic loss in relation to global gross domestic product by 2030;

4) Substantially reduce disaster damage to critical infrastructure and disruption of basic services, among them health and educational facilities, including through developing their resilience by 2030;

5) Substantially increase the number of countries with national and local disaster risk reduction strategies by 2020;

6) Substantially enhance international cooperation to developing countries through adequate and sustainable support to complement their national actions for implementation of the framework by 2030;

7) Substantially increase the availability of and access to multi-hazard early warning systems and disaster risk information and assessments to the people by 2030.

References

1. Chachava N., Kiknadze Z., Zaalishvili V.B., Gogmachadze S., Tsereteli N., Arevadze N., Khoshtari T., Timchenko I. Overview of the Impact of Urban Settements by the Natural Disasters. The Issues of Seismic Vulnerability and Risk Asesment Throughout the Urban Territory // Proportion & urbanism & environment Lisbon, Portugal. – 2017a. – Pp. 61–71.

2. Chachava N., Kiknadze Z., Zaalishvili V.B., Gogmachadze S., Tsereteli N., Arevadze N., Khoshtari T., Timchenko I. Urban Seismic Risk Reduction and its Management in Historical City Center // Proportion & urbanism & environment Lisbon, Portugal. – 2017b. – Pp. 76–79.

3. Chachava N., Kiknadze Z., Zaalishvili V.B., Gogmachadze S., Tsereteli N., Arevadze N., Khoshtari T., Timchenko I. Reconstruction as a Tool of Seismic Risk // Proportion & urbanism & environment Lisbon, Portugal. – 2017c. – Pp. 8–83.

4. Corominas J., van Westen C., Frattini P., Cascini L., Mallet J.-P. et al. Recommendations for the quantitative analysis of landslide risk. Bulletin of Engineering // Geology and Environment. – 2014. –Vol. 73(2). – Pp. 209–263.

5. Edison T., Ganapathy G.P , Chandra Sekaran S.S. & Rajawat A.S. (2016), Use of GIS in assessing building vulnerability for landslide hazard in The Nilgiris, Western Ghats, India, Natural Hazards, Journal of the International Society, for the Prevention and Mitigation of Natural Hazards.

6. Elayaraja S., Chandra Sekaran S.S and Ganapathy G.P. (2015), Evaluation of seismic hazard and potential of earthquake induced landslides of Nilgiris, India, Springer – Natural Hazards, Journal of the International Society for the Prevention and Mitigation.

7. Ganapathy G.P. and Rajawat A.S. (2015), Use of hazard and vulnerability maps for landslide planning scenarios: a case study of the Nilgiris, India, Springer – Natural

Hazards, Journal of the International Society for the Prevention and Mitigation of Volume 77, No.1, Natural Hazards.

8. Kutepov V.M., Sheko A.I., Anisimova N.G., Burova V.N., Victorov A.S. et al. Natural hazards in Russia. Exogenous geological hazards. – Moscow: «KRUK», 2002 – 345 pp.

9. Osipov V.I., Shojgu S.K., Vladimirov V.A., Vorobjev Yu.L., Avdod'in V.P. et al. Natural hazards in Russia. Natural hazards and society. – Moscow:«KRUK», 2002. – 245 pp.

10. Ragozin A. (ed.). Natural hazards of Russia. Evaluation and management of natural risk. Moscow: «KRUK», 2003. – 316 p.

11. Shempelev A.G., Zaalishvili V.B., Kukhmazov S.U. Deep Structure of the Western Part of the Central Caucasus from Geophysical Data // Geotectonics. – 2017. – Vol. 51. No. 5. – Pp. 479–488.

12. Svalova V.B. Monitoring and modeling of landslide processes. Monitoring // Science and technology.– 2011a. – №2(7). –Pp. 19–27.

13. Svalova V.B. Mechanical-mathematical modeling and monitoring for landslide processes and landslide hazards in Moscow // Proceedings of The 2nd World Landslide Forum 2011, Rome, Italy. – 2011b.

14. Svalova V.B. Modeling and Monitoring for Landslide Processes. Chapter in book: Natural Disasters – Typhoons and Landslides – Risk Prediction, Crisis Management and Environmental Impacts. Editor: K. Linwood, Nova Science Publishers. – NY USA. – 2014.– Pp. 177–198.

15. Svalova V.B. Monitoring and reducing the risk of landslides in Taiwan.Monitoring. Science and technology. -2016a. $-N_{2}3$. -Pp. 13–25.

16. Svalova V.B. Landslides modeling, monitoring, risk management and reduction. EESJ (East European Scientific Journal , Poland). – 2016b.– №7(11). – Pp. 43–52.

17. Svalova V.B. Risk analysis, evaluation and management for landslide processes. Sciences of Europe(Praha, Czech Republic). – 2016c. – V. 4. No 6(6).– Pp. 15–25.

18. Svalova V.B. Landslide Risk: Assessment, Management and Reduction. Nova Science Publishers. – New York. – 2017a. – 253 p.

19. Svalova V.B. Landslide Risk Analysis, Management and Reduction for Urbanized Territories // Proceedings of WLF4 (World Landslide Forum 4), Ljubljana, Slovenia, 2017b. – Pp. 439–445. Springer.

20. Svalova V.B. (ed) Risk Assessment // In-Tech. – 2018. – 380 pp.

21. Vranken L., Vantilt G., Van Den Elckhaut M., Vandekerckhove L., Poesen J. Landslide risk assessment in densely populated hilly area. Landslides. – 2015. – V. 12. N4.– Pp.787–798.

22. Wirtz, A., Kron, W., Löw, P. and Steuer, M. The need for data: natural disasters and the challenges of database management // Natural Hazards.-2014. - 70. - Pp. 135-157.

23. Zaalishvili V.B. Hazardous Geological Processes in the Territory of North Ossetia // Development of regions in the 21st century, Proceedings of the II International Scientific Conference. – 2017. – Pp. 360–368.

24. Zaalishvili V.B., Melkov D.A., Kanukov A.S. Instrumental monitoring of hazardous natural and anthropogenic processes in the territory of North Ossetia // Contemporary problems of geology, geophysics and geoecology of the North Caucasus Collective monograph on the materials of the VII All-Russian Scientific and Technical Conference. -2017a. - Pp. 89-100. 25. Zaalishvili V.B., Melkov D.A., Kanukov A.S., Gabaraev A.F., Ryzhanov O.N. Complex monitoring of hazardous natural and anthropogenic processes in the territory of North Ossetia-Alania // Proceedings of the Institute of Geology of the Dagestan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. – 2017b. – No. 69-2. – Pp. 52–58.

ПРИРОДНЫЕ ОПАСНОСТИ И БЕДСТВИЯ В ГОРНЫХ РАЙОНАХ

© 2018 В.Б. Свалова¹, к. ф.-м. н., В.Б. Заалишвили², д. ф.-м. н., проф., Г.П. Ганапати³, проф., директор, А.В. Николаев⁴, член-корр. РАН, д. ф.-м. н., проф.

¹ФГБУН Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева, Россия, 101000, г. Москва, Уланский пер., д. 13, стр. 2;

²Геофизический институт – филиал ФГБУН ФНЦ «Владикавказский научный центр Российской академии наук», Россия, 362002, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а, e-mail: cgi_ras@mail. ru;

³Центр по смягчению и управлению стихийными бедствиями, Технологический институт Веллора, Индия, 632014, г. Веллор, e-mail: gpganapathy@vit.ac.in;

⁴ФГБУН Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта, Россия, 123995, г. Москва, ул. Б. Грузинская, д. 10, e-mail: nikavs1@gmail. com

Горные и прибрежные районы являются регионами, наиболее подверженными стихийным бедствиям. Некоторые горные районы, которые уязвимы для оползней, также подвергались воздействию землетрясений. Когда в таких районах происходит землетрясение, риск возникновения оползня значительно возрастает. Природные опасности наносят огромный урон в мире и ежегодно их жертвами становятся множество людей. Концепция естественного риска может быть успешно использована для анализа природных опасностей и смягчения риска.

Горные и предгорные районы Северного Кавказа расположены в зоне альпийской тектономагматической активации Большого Кавказа и характеризуются интенсивными геодинамическими процессами, наличием активных вулканов, высокой сейсмичностью (9-10 баллов) пульсирующими ледниками и самым широким развитием геологических опасностей различных генетических типов.

Проблема сейсмической опасности и оценки риска Северного Кавказа генетически связана с активностью Большого Кавказа, самые сильные сейсмические события которого играют определяющую роль для некоторых регионов Северного Кавказа.

Ключевые слова: геологические опасности, вулкан, землетрясение, оползень, сейсмическая опасность, сейсмический риск, страхование.

ГЕОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА ЮГА РОССИИ (№2. 2018 г.)

Подписано в печать 25.06.2018 г. Формат 60×84 1/8. Дата фактического выхода 29.06.2018 г. Усл. печ. лист 13,5. Гарнитура «Times». Бумага офсетная. Печать цифровая. Тираж 100 экз. Заказ № 51. Свободная цена.

Издание зарегистрировано в Министерстве РФ по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций. Свидетельство ПИ № ФС77-63229 от 06 октября 2015 г.

> Издатель: **Геофизический инситут Владикавказского научного** центра Российской академии наук Адрес издателя и редакции: 362002, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Маркова 93а тел. 8 (8672) 764084; факс 8(8672) 764056 е-mail: southgeo@mail.ru http://cgiras.ru/southgeo

> > Отпечатано ИП Цопановой А.Ю. 362000, г. Владикавказ, пер. Павловский, 3