

**Геофизический институт
Владикавказского научного центра
Российской академии наук**

ГЕОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА ЮГА РОССИИ

№ 4 / 2015

Владикавказ 2015

Главный редактор

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

Заместитель главного редактора

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

Редакционный совет

академик РАН В.А. Бабешко (ЮНЦ РАН)

академик РАН А.Д. Гвишиани (ГЦ РАН)

академик РАН М.Ч. Залиханов (ГУ ВГИ)

академик РАН Ю.Г. Леонов (ГИН РАН)

академик РАН С.А. Федотов (ИФЗ РАН)

член-корр. РАН А.В. Николаев (ИФЗ РАН)

Редакционная коллегия

д.г.- м.н., проф. М.Г. Бергер (ГФИ ВНЦ РАН)

д.г.- м.н. Р.М. Багатаев (Дагестаннедра)

к.г.-м.н. М.Г. Даниялов (ДФ ГС РАН)

д.т.н., проф. Х.Н. Мажиев (КНИИ 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. Н.И. Пруцкий (ОАО «Кавказгеолсъёмка»)

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)

И.о. ответственного секретаря

М.В. Майсурадзе (ГФИ ВНЦ РАН)

Выпускающий редактор

Л.Н. Невский (ГФИ ВНЦ РАН)

Журнал издается с 2011 года.

Периодичность издания -

4 номера в год

Учредители:

Владикавказский научный центр РАН и РСО-А

Дагестанский научный центр РАН

Кабардино-Балкарский научный центр РАН

Южный научный центр РАН

Комплексный научно исследовательский институт РАН

Геофизический институт ВНЦ РАН

ISSN 2221-3198

Подписной индекс в Объединенном каталоге «Пресса России» – 29119

При перепечатке материалов ссылка на журнал обязательна.

© Геофизический институт ВНЦ РАН, 2015

© Заалишвили В.Б. (ред.), 2015

Фото на обложке: «Черная гора» (К.С. Харебов).

СОДЕРЖАНИЕ

Адцеев В.Г., Заалишвили В.Б., Мельков Д.А./ К ВОПРОСУ СОЗДАНИЯ ЕДИНОЙ СИСТЕМЫ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА КАТАСТРОФИЧЕСКИМИ ЯВЛЕНИЯМИ	5
Баскаев А.Н., Харебов К.С. ВЛИЯНИЕ ТИПОВ ГРУНТОВ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ СИЛЬНЫХ ГРУНТОВЫХ ДВИЖЕНИЙ	9
Бергер М.Г. ГАЗОГЛЯЦИОДИНАМИКА – НОВАЯ ОБЛАСТЬ ИССЛЕДОВАНИЙ ЛЕДНИКОВ И СВЯЗАННЫХ С НИМИ ЭНДОГЕННЫХ ОПАСНЫХ ПРИРОДНЫХ ПРОЦЕССОВ КАТАСТРОФИЧЕСКОГО УРОВНЯ	18
Бериев О.Г., Заалишвили В.Б. СОСТОЯНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ И ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ НАСЕЛЕНИЯ ГОРОДА ВЛАДИКАВКАЗА	47
Гавришин А.И. ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ШАХТНЫХ ВОД ВОСТОЧНОГО ДОНБАССА ЗА СТОЛЕТНИЙ	57
Дмитриева Е.В., Сергеев И.А., Сергеев С.И., Стефанов А.А., Тихонов А.И. МОНИТОРИНГ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОПОЛЗНЕВЫХ ПРОЦЕССОВ В ГОРОДЕ ГРОЗНОМ	66
Заалишвили В.Б., Мельков Д.А. ЕДИНАЯ СИСТЕМА НАБЛЮДЕНИЙ ЗА КАТАСТРОФИЧЕСКИМИ ЯВЛЕНИЯМИ: ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПРОТОКОЛЫ	73
Заалишвили В.Б., Мельков Д.А., Кануков А.С. ВОЗМОЖНОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СОЗДАНИИ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА КАТАСТРОФИЧЕСКИМИ ЯВЛЕНИЯМИ И РАЙОНАМИ ИХ ВОЗМОЖНОГО РАЗВИТИЯ	78
Забирченко Д.Н. ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКОГО И ГГД-МОНИТОРИНГА «ГГД-КОМПЛЕКС»	84
Забирченко Д.Н., Дьяконов С.С. АНАЛИЗ НАБЛЮДЕНИЙ ЕИЭМПЗ ПО СЕТИ СТАНЦИЙ СЕВЕРО- КАВКАЗСКОГО РЕГИОНА. ВЫДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРНОГО ОБРАЗА АНОМАЛИЙ, ПРЕДВАРЯЮЩИХ АКТИВИЗАЦИЮ СЕЙСМИЧНОСТИ ЦЕНТРАЛЬНОГО И ВОСТОЧНОГО КАВКАЗА	93
Идармачев Ш.Г., Черкашин В.И., Мусаев М.А., Идармачев И.Ш. К ВОПРОСУ О ДЕФОРМАЦИИ ЗЕМНОЙ КОРЫ ОТ СЕЗОННОЙ НАГРУЗКИ ВЕСА ЧИРКЕЙСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА	108
Харебов К.С., Музаев И.Д., Музаев Н.И. АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕЙСМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЗАСТРОЙКУ С ГРУНТОВЫМ ОСНОВАНИЕМ И СРАВНЕНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ С РЕАЛЬНЫМИ СОБЫТИЯМИ ИЗ БАЗЫ ДАННЫХ SMDV CGI	117
Шемпелев А.Г., Кухмазов С.У., Чотчаев Х.О., Невский Л.Н. СТРУКТУРА БОЛЬШОГО КАВКАЗА – РЕЗУЛЬТАТ ПОЛОГОГО НАДВИГА ЗЕМНОЙ КОРЫ СКИФСКОЙ ПЛИТЫ НА КОНСОЛИДИРОВАННУЮ КОРУ МИКРОПЛИТ ЮЖНОГО КАВКАЗА	129
НАШИ ГОСТИ	
Дургарян Р.Р., Аванесян М.А., Бабаян С.Г., Геворгян М.Р., Бабаян Г.Е., Аракелян А.Р. ОЦЕНКА ГРУНТОВЫХ УСЛОВИЙ И ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЛОКАЛЬНОГО СЕЙСМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА	146
Етирмишли Г.Д., Казымова С.Э., Казымов И.Э. РАСЧЕТ СТАЦИОННЫХ ПОПРАВК (САЙТ-ЭФФЕКТ) СТАНЦИЙ НА ОСНОВЕ СЕЙСМИЧЕСКОГО СИГНАЛА	153
ЮБИЛЕИ	
АНАТОЛИЮ ИВАНОВИЧУ ГАВРИШИНУ – 75!	162

CONTENTS

Adtseev V.G., Zaalishvili V.B., Melkov D.A. ON THE DEVELOPMENT OF UNIFIED SYSTEM OF CATASTROPHIC EVENTS OBSERVATION.....	5
Baskaev, A.N., Kharebov K.S. INFLUENCE OF THE SOILS TYPES ON THE STRONG GROUND MOTIONS INTENSITY	9
BergerM.G. GAS GLACIODYNAMICS AS A NEW FIELD OF INVESTIGATIONS OF GLACIERS AND RELATED TO THEM HAZARDOUS ENDOGENOUS NATURAL PROCESSES OF CATASTROPHIC LEVELS.....	18
Beriev O.G., Zaalishvili V.B. STATE OF ATMOSPHERIC POLLUTION AND MORBIDITY OF THE POPULATION OF VLADIKAVKAZ CITY	47
Gavrishin A.I. PECULIARITIES OF FORMATION OF CHEMICAL COMPOSITION OF THE EASTERN DONBAS MINE WATERS FOR A CENTENARY PERIOD.....	57
DmitrievaE.V., SergeevI.A., StefanovA.A., TikhonovA.I. MONITORING AND FORECASTING OF THE LANDSLIDE PROCESSES IN GROZNY	66
Zaalishvili, V.B., Melkov D.A. UNIFIED CATASTROPHIC EVENTS OBSERVATION SYSTEM: INFORMATION PROTOCOLS.....	73
Zaalishvili, V.B., Melkov D.A., Kanukov A.S. CAPABILITIES OF MODERN TECHNOLOGIES IN DEVELOPMENT OF TELEMETRIC OBSERVATION SYSTEMS FOR CATASTROPHIC EVENTS AND REGIONS OF THEIR POSSIBLE SPREADING.....	78
Zabirchenko D.N. INFORMATION SYSTEMS FOR COMPLEX ANALYSIS OF GEOPHYSICAL AND HGD-MONITORING “HGD-COMPLEX”	84
Zabirchenko D.N., Dyakonov S.S. ANALYSIS OF OBSERVATIONS OF NATURAL PULSED ELECTROMAGNETIC FIELD OF THE EARTH USING STATIONS NETWORK OF NORTH CAUCASUS REGION. ISOLATION OF CHARACTERISTIC ANOMALY FORMS, THAT ARE PRECEDING SEISMICITY ACTIVATION OF THE CENTRAL AND EASTERN CAUCASUS.....	93
Idarmachev S.G., Cherkashin V.I., Musaev M.A., Idarmachev I.S. TO THE QUESTION OF CRUSTAL DEFORMATION FROM SEASONAL LOAD WEIGHT CHIRKEI RESERVOIR	108
KharebovK.S., MuzaevI.D., MuzaevN.I. AMPLITUDE - FREQUENCY CHARACTERISTICS OF SEISMIC IMPACT ON THE BUILDING WITH THE GROUND BASE AND THE COMPARISON OF THEORETICAL ESTIMATION WITH THE REAL EVENTS FROM THE DATA BASE SMDB CGI	117
Shempelev A.G., Khuhmazov S.U., Chotchaev H.O., Nevski L.N. STRUCTURE OF THE LARGE CAUCASUS – THE RESULT OF THE GENTLY SLOPING THRUST OF THE SCYTHIAN PLATE EARTH’S CRUST ON THE CONSOLIDATED CRUST OF THE TRANSCAUCASIAN MICROS-PLATES	129
OUR GUESTS	
DurgaryanR.R., AvanesyanM.A., BabayanS.H., GevorgyanM.R., BabayanH.Y, ArakelyanA.R. EVALUATION OF GROUND CONDITIONS AND OCCURRENCE OF LOCAL SITE EFFECT.....	146
Etirmishli G.J., Kyazymova S.E., Kyazymova I.E. CALCULATION OF STATION AMENDMENTS (SITE EFFECT) BASED ON SEISMIC SIGNAL	153
JUBILEES	
ANATOLY IVANOVICH GAVRISHIN IS 75YEAR OLD!.....	162

УДК 504.064.36

К ВОПРОСУ СОЗДАНИЯ ЕДИНОЙ СИСТЕМЫ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА КАТАСТРОФИЧЕСКИМИ ЯВЛЕНИЯМИ

© 2015 В.Г. Адцеев^{1,2}, В.Б. Заалишвили¹, д.ф.-м.н., проф.,
Д.А. Мельков¹, к.т.н.

¹Геофизический институт Владикавказского научного центра РАН, Россия, 362002, г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а, e-mail: cgi_ras@mail.ru;

²Государственное казенное учреждение при Правительстве РСО-Алания «Центр обеспечения деятельности по защите населения и территории РСО-Алания от чрезвычайных ситуаций», Россия, 362048, г. Владикавказ, ул. Дзержинского, д. 70.

Рассмотрена проблема создания единой системы мониторинга опасных природно-техногенных процессов и явлений.

Ключевые слова: опасные процессы, мониторинг, метаданные, большие данные.

Проблема предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера является актуальной и входит перечень критических технологий РФ [Указ Президента РФ от 7 июля 2011 года № 899]. Нет ни одного района на территории РФ не подвергающегося тому или иному виду природно-техногенных опасностей. На Северном Кавказе особенно велики ожидаемые экономические и социальные риски в силу высокой плотности населения и высокого уровня вулканической, сейсмической, селевой, паводковой и других опасностей [Заалишвили и др., 2013]. При этом специфические факторы природной среды провоцируют катастрофические природные и природно-техногенные процессы, ранее не изученные на достаточном уровне для достоверного прогноза и потому неожиданные и разрушительные. Примеры – мощный оползень в районе поселка Мизур в 2002 г. и провалы поверхности, как отклик на прошлую активную и часто нерациональную горнодобывающую деятельность, сход ледника Колка в Кармадонском ущелье в 2002 году, наводнение в Крымске в 2012 году, которые можно охарактеризовать как «сход ледника» и «внезапный паводок», процессы стремительно развивающиеся во времени и никак не связанные с классическими представлениями о подвижках ледников и наводнениях. 11 октября 2008 г. произошло разрушительное землетрясение в Чечне. 17 мая 2014 года произошел обвал части горных пород и льда в районе Девдоракского ледника на территории Грузии, в результате которого было нарушено движение по военно-грузинской дороге, трассе федерального значения, единственном наземным сообщением с Закавказьем, в связи с образованием подпрудного озера сохранялась угроза для г. Владикавказа. Следует отметить, что обвал не затронул тело самого ледника, при сходе которого масштабы катастрофы были бы во много раз большими и социально значимыми. Предшествующие микрообвалы в районе Казбекского вулканического центра и сам процесс схода селя 17 мая 2014 г. были зарегистрированы существующей системой сейсмического мониторинга Кармадонского параметрического полигона Геофизического института ВНИЦ РАН (как и процесс схода ледника Колка в 2002 г.) [Заалишвили и др., 2014].

Разработка единой системы наблюдений за катастрофическими явлениями и районами их возможного развития является комплексной фундаментальной научной проблемой, системное решение которой, несмотря на значительные успехи в развитии мониторинга отдельных параметров окружающей среды и сложных технических объектов, до сих пор отсутствует. В первую очередь, это связано с разнородностью получаемой и обрабатываемой информации. Данные геофизических, метеорологических, гидрологических, геодезических, геологических наблюдений, могут быть представлены как в форме временных рядов различной дискретизации, так и в формате геоинформационных (ГИС) проектов и карт (включающих в свою очередь точечные, линейные и площадные объекты), облаков точек и построенных на их основе 3D моделей, фото- и видеоматериалов, служебных записок, отчетов. Для решения данной проблемы необходима разработка средств управления совокупностью (коллекциями, блоками коллекций) разнородных документов, структура которых жестко не определена и может варьироваться в разных документах.

Другой важной составляющей, формирующей рассматриваемую научную проблему, является увеличение потоков и объемов данных, в том числе, за счет повышения разрядности и частоты дискретизации временных рядов, числа пунктов мониторинга, которое происходит по экспоненциальному закону и т. д. В частности, суточная трехкомпонентная запись любого параметра разрядностью 32 бит с частотой дискретизации 120 Гц составит 123,6 Мб, если в сети 10 пунктов регистрации, то для хранения всего потока информации потребуется 1,2 Гб в сутки.

В такой постановке проблема относится к области системного анализа, «Больших данных» (Big Data) и «Извлечения данных» (Data Mining) и должна решаться путем использования соответствующих методов. Часть используемых подходов и технологий пока не имеет устоявшихся терминов в русском языке. Термин «большие данные» впервые был использован Клиффордом Линчем, редактором журнала Nature, в 2008 г. в специальном номере журнала с темой «Как могут повлиять на будущее науки технологии, открывающие возможности работы с большими объемами данных?» [Clifford, 2008], в котором были собраны материалы о феномене взрывного роста объемов и многообразия обрабатываемых данных и технологических перспективах в парадигме вероятного скачка «от количества к качеству» [Черняк, 2011]. Несмотря на то, что термин вводился в академической среде, и прежде всего, разбиралась проблема роста и многообразия научных данных, появление первых продуктов и решений, относится исключительно и непосредственно к проблеме обработки больших данных. Большинство крупнейших поставщиков информационных технологий для организаций такие как IBM, Oracle, Microsoft, Hewlett-Packard, EMC в своих деловых стратегиях используют понятие о больших данных.

Область Data Mining началась с семинара, проведенного Григорием Пятецким-Шапиро в 1989 году. Ранее, работая в компании GTE Labs, Григорий Пятецкий-Шапиро заинтересовался вопросом: можно ли автоматически находить определённые правила, чтобы ускорить некоторые запросы к крупным базам данных. Тогда же было предложено два термина – Data Mining («добыча данных») и Knowledge Discovery In Data (который следует переводить как «открытие знаний в базах данных») [Piatetsky-Shapiro, 1991; Fayyad et al., 1996].

Необходимо отметить проблему нормативно-правового обеспечения обмена информацией различных служб и ведомств. Следует признать, что существуют эффективные барьеры для доступа специализированных ведомственных и научно-ис-

следовательских организаций к открытым данным. Наличие собственных инструкций и процедур предоставления данных у различных ведомств и отдельных подразделений также приводит к увеличению времени доступа к требуемым данным, что значительно снижает оперативность принятия решений властными структурами. Существует и другая проблема – часто колоссальный информационный поток не может быть обработан силами одной группы и даже ведомства и остается невостребованным. Разрабатываемая система должна стать не рутинным центром сбора, «головным центром» и т. п., а распределенной средой хранения и обмена информацией, являющейся, таким образом, самым мягким механизмом интегрального взаимодействия. Координатором подобной системы, как показывает наш опыт, может выступать специализированное подразделение Правительства субъекта Российской Федерации и Министерства по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий как основных пользователей данной единой системы наблюдений.

Заключение

Задача создания единой системы наблюдений за катастрофическими явлениями и районами их возможного развития состоит в создании информационной среды взаимодействия разрозненных в настоящее время систем мониторинга как единой инфраструктуры технологий и институциональных механизмов регулирования.

В такой постановке проблема относится к области системного анализа, «Больших данных» (Big Data) и «Извлечения данных» (Data Mining) и должна решаться путем использования соответствующих методов. Вопросы создания систем инструментального мониторинга охватывают области геофизики, геологии, математического моделирования, теорию алгоритмов и структур данных, создания компьютерных и вычислительных сетей и нормативно правового регулирования.

Создание распределенной среды хранения и обмена информацией является наиболее мягким механизмом интегрального взаимодействия, при котором нет единого сервера для хранения данных и, соответственно, головного ведомства. Доступ к данным регулируется каждым участником системы на основе соглашений. Таким образом, одной из ключевых задач является разработка нормативно-правовой базы.

Подобная система будет служить основой для извлечения новых знаний (Data mining) об опасных природно-техногенных процессах и явлениях, систем поддержки принятия решений с целью предупреждения чрезвычайных ситуаций, что, в свою очередь, окажет влияние на обеспечение безопасности населения.

Литература

1. Заалишвили В. Б., Невская Н. И., Невский Л. Н., Мельков Д. А., Дзеранов Б. В., Кануков А. С., Шепелев В. Д. Мониторинг опасных природных и техногенных процессов на территории РСО-Алания // Геология и геофизика Юга России. 2013. № 1. С. 17–27.
2. Заалишвили В. Б., Мельков Д. А., Дзеранов Б. В., Кануков А. С., Габарев А. Ф., Шепелев В. Д. Сход каменно-ледовой лавины в районе ледника Девдорак 17 мая 2014 года по инструментальным данным // Геология и геофизика Юга России. 2014. № 4. С. 122–128.
3. Указ Президента РФ от 7 июля 2011 года № 899.
4. Черняк Л. Большие Данные – новая теория и практика // Открытые системы.

СУБД. М.: Открытые системы, 2011. № 10.

5. Clifford A. Lynch, «Big data: How do your data grow?» Nature, vol. 455, no. 7209 (September 3, 2008).

6. Fayyad U., Piatetsky-Shapiro G., Smyth P. From Data Mining to Knowledge Discovery in Databases AI Magazine 17 (3): Fall 1996, 37–54.

7. Piatetsky-Shapiro G. Knowledge Discovery in Real Databases: A Report on the IJCAI-89 Workshop. 1991. AI Magazine 11 (5): 68–70.

ON THE DEVELOPMENT OF UNIFIED SYSTEM OF CATASTROPHIC EVENTS OBSERVATION

© 2015 V.G. Adtseev^{1,2}, V.B. Zaalishvili¹, Sc. Doctor (Phys.-Math.), prof.,
D.A. Melkov¹, Sc. Candidate (Tech.)

¹Geophysical Institute of VSC RAS, Russia, 362002, Vladikavkaz, 93a Markova Str.,
e-mail: cgi_ras@mail.ru;

²State public institutions under the Government of North Ossetia-Alania «Center
of the protection of the population and territory of North Ossetia-Alania from
emergency situations», Russia, 362048, Vladikavkaz, 70, Dzerzhinsky Str.

The problem of creating a unified system of monitoring of hazardous natural and anthropogenic processes and phenomena is considered. The tasks of development of the information environment for interaction of existing monitoring systems as a single infrastructure, technology and institutional mechanisms are defined.

Keywords: hazardous processes, monitoring, metadata, big data, data mining.

УДК 550.347

ВЛИЯНИЕ ТИПОВ ГРУНТОВ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ СИЛЬНЫХ ГРУНТОВЫХ ДВИЖЕНИЙ

© 2015 А.Н. Баскаев, к.т.н., К.С. Харебов, к.т.н.

Геофизический институт Владикавказского научного центра РАН, Россия,
362002, г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а, e-mail: cgi_ras@mail.ru.

Проведено исследование влияния различных видов грунтов на интенсивность проявления сильных грунтовых движений на примере записей базы данных, созданной авторами. Для различных типов грунта (скала, песок, гравий, ил, глина) получены корреляционные зависимости интенсивности от логарифма пикового горизонтального ускорения и от гипоцентрального расстояния по отдельности. Показано, что при высоких магнитудах интенсивность проявляется на различных грунтах в порядке убывания следующим образом: глина, песок, ил, гравий, скала. Проведенное исследование показало слабую зависимость интенсивности от скорости поперечной волны. Проведенное сравнение корреляционных зависимостей интенсивности от магнитуды и от гипоцентрального расстояния для записей базы данных SMDBCGI с уравнением Шебалина, показало, что точность формулы авторов для всех типов грунтов и формулы Шебалина одинакова в пределах ошибки. Показано, что для станций системы KNET лучше использовать формулу корреляционной зависимости интенсивности от магнитуды и от логарифма пикового горизонтального ускорения, чем от магнитуды и от логарифма гипоцентрального расстояния.

Ключевые слова: интенсивность землетрясения, магнитуда, горизонтальное ускорение, гипоцентрального расстояние, грунты, базы данных, сильные грунтовые движения.

Выбор типов грунтов

В соответствии с параметрами грунтов станций KNET [Kinoshita, 2003; Заалишвили и др., 2014] была проведена классификация грунтов [Заалишвили и др., 2009] на следующие категории (табл. 1).

Таблица 1

Усредненные показатели исследуемых грунтов

Грунт	Скорость волн		Плотность г/см ³
	продольных, м/с	поперечных, м/с	
Скала	1844	628	2,04
Песок	1384	236	1,72
Гравий	1674	456	1,92
Ил	1352	152	1,66
Глина	1465	197	1,69

Средние значения параметров сильных грунтовых движений на различных грунтах приведены в табл. 2. Судя по средним значениям параметров (табл. 2) интенсивность проявления землетрясения наибольшая на иле, песке, глине. На скале и гравии интенсивность наименьшая. На иле интенсивность в среднем на 18% выше, чем на скале. Максимальные горизонтальные ускорения – на песке, глине,

гравии. Наименьшие максимальные горизонтальные ускорения – на иле. Есть различие между вертикальным и горизонтальным ускорениями. Так, для гравия горизонтальное ускорение почти такое же, как и для песка, а вертикальное ускорение у песка значительно превышает аналогичный показатель у гравия.

Таблица 2

**Средние значения параметров сильных грунтовых движений
на различных грунтах**

Параметр	Все Записи	Скала	Песок	Гравий	Ил	Глина
Магнитуда	4,7	4,9	4,8	4,7	4,9	4,7
Интенсивность, балл	3,7	3,4	3,9	3,4	4,0	3,7
Максимальное вертикальное ускорение	7,6	5,5	8,5	6,1	6,5	6,9
Максимальное горизонтальное ускорение	19,7	13,1	18,9	18,4	12,5	15,8

Зависимость интенсивности от максимального ускорения

На основании расчетов корреляций интенсивности с параметрами землетрясений выяснено следующее. Интенсивность сильнее всего зависит от максимального ускорения. Зависимость имеет логарифмический характер. Для глины, песка – интенсивность растет сильнее, чем для других грунтов. Немного слабее зависимость для ила. Интенсивность меньше всего зависит от максимального ускорения для скалы и гравия.

Рассмотрим зависимости интенсивности землетрясения (**Int**) только от **lg** (**Acc**) – логарифма пикового горизонтального ускорения (табл. 3).

Таблица 3

**Зависимость интенсивности от логарифма
пикового горизонтального ускорения**

Грунт	Формула	R ²
Скала	$Int = 1,76 + 1,76 \cdot \lg (Acc)$	0,59
Песок	$Int = 1,72 + 2,28 \cdot \lg (Acc)$	0,82
Гравий	$Int = 1,67 + 1,74 \cdot \lg (Acc)$	0,68
Ил	$Int = 2,28 + 1,84 \cdot \lg (Acc)$	0,61
Глина	$Int = 1,59 + 2,45 \cdot \lg (Acc)$	0,79
Все	$Int = 1,623 + 2,05 \cdot \lg (Acc)$	0,72

В этих формулах есть определенная ясность. Увеличение пикового горизонтального ускорения в 10 раз ведет к приращению интенсивности воздействия на 1,76 балла для скалы, 2,28 – для песка, 1,74 – для гравия, 1,84 – для ила, 2,45 – для глины, 2,05 – для всех записей. Отсюда следует, что приращение интенсивности в 1 балл на скале соответствует приращению в 1,3 балла на песке, и в 1,4 балла на глине.

Зависимость интенсивности от гипоцентрального расстояния

Можно построить зависимости интенсивности от гипоцентрального расстояния при разных магнитудах (рис. 1). При высоких магнитудах графики разных грунтов хорошо разделяются; интенсивность на скале и гравии ниже, чем на других грунтах. При малых магнитудах – зависимость более смазана.

Исследование зависимости интенсивности от гипоцентрального расстояния при разных грунтах показало, что приращению интенсивности на 1 балл на скальных грунтах соответствует приращение на 1,3 балла на гравии и иле, 1,9 на песке и 2,1 на глине.

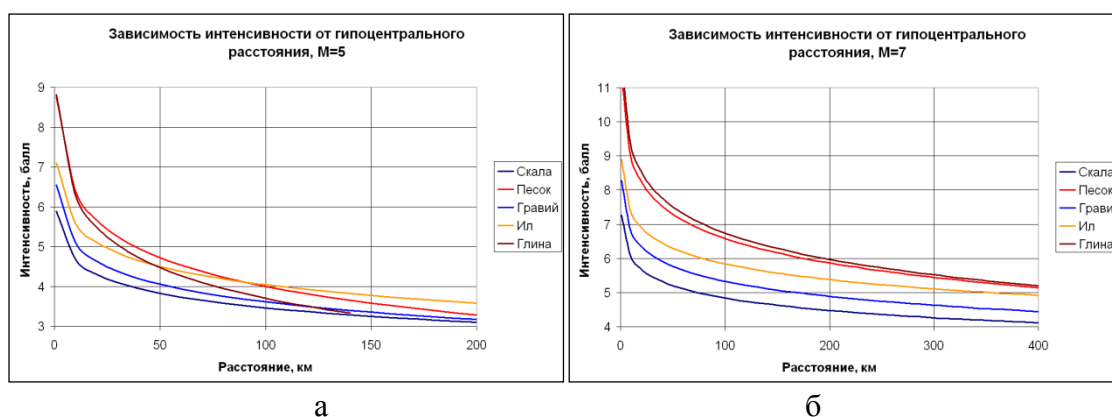


Рис. 1. Зависимость интенсивности от гипоцентрального расстояния а) – для магнитуды 5, и б) – для магнитуды 7, для разных грунтов.

Зависимость интенсивности от скорости поперечной волны

Параметры грунтов в базе данных [Заалишвили и др., 2014] описываются плотностью грунта, скоростями продольной и поперечной волн. Вычислительные эксперименты показали практическое отсутствие зависимости интенсивности от плотности и скорости продольной волны. Имеется слабая зависимость интенсивности от скорости поперечной волны. Для того чтобы выделить «чистую» зависимость интенсивности от скорости поперечной волны выделяли событие с определенной магнитудой, и рассматривали зависимости в достаточно узких диапазонах эпицентральных расстояний. Было рассмотрено 5 выборок.

Выборка 1. Сейсмическое событие от 11.03.2011 г. 14:46. Магнитуда 9. Диапазон эпицентральных расстояний 229–240 км [Kinoshita, 2003; Заалишвили и др., 2014]. Исследовалась корреляционная связь между интенсивностью в баллах MSK и скоростью поперечной волны в м/спо записям 8-ми станций.

Результаты исследования приведены на рис. 2. Как видно из рисунка, между интенсивностью и скоростью поперечной волны существует достаточно сильная связь ($R^2=0,52$). Наибольшая интенсивность величиной 10,0 балла наблюдается на станции FKS017 (рис. 3), расположенной на участке сложенном песчаными (2,8–6,8 м; 8,65–9,95 м) и глинистыми (2,3–2,8 м; 9,95–11,7 м; 12,8–20,0 м) грунтами, а также вулканическим пеплом (0,4–2,3 м). Наименьшая интенсивность наблюдается на станции АКТ023 (6,6 балла), которая установлена на участке, сложенном на-

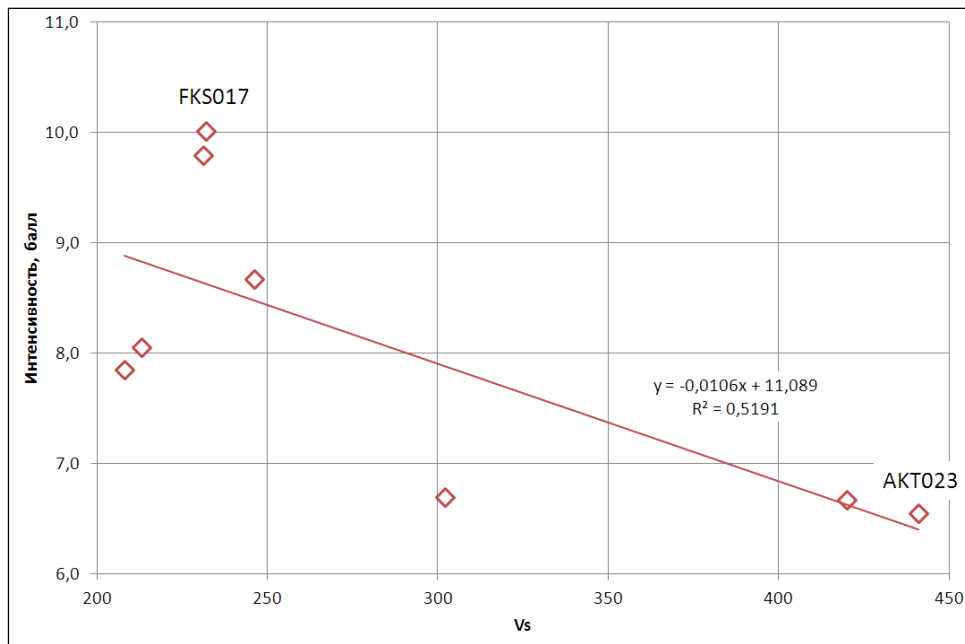


Рис. 2. Зависимость интенсивности от скорости поперечной волны Vs по выборке 1

сыпным грунтом (0–1,6 м), гравелистым грунтом (1,6–3,7 м) и скальным грунтом (3,7–20,0 м).

Выборка 2. Сейсмическое событие от 11.03.2011 г. 14:46 [Kinoshita,2003; Заалишвили и др., 2014]. Магнитуда 9. Диапазон эпицентральных расстояний 196–207 км. Результаты исследования говорят о том, что между интенсивностью и скоростью поперечной волны существует слабая связь ($R^2=0,07$). Наибольшая интенсивность величиной 9,9 балла проявилась на станции FKS006, грунты под которой представлены насыпным грунтом (0–4,8 м), почвенным грунтом (4,8–5,7 м), илом (5,7–6,25 м), глиной (6,25–7,15 м). Глубже расположен скальный грунт. Наименьшая интенсивность величиной 7,5 балла проявилась на станции IWT016, под которой находится гравелистый грунт (0–14 м) и скальный грунт (14–20 м). На станции

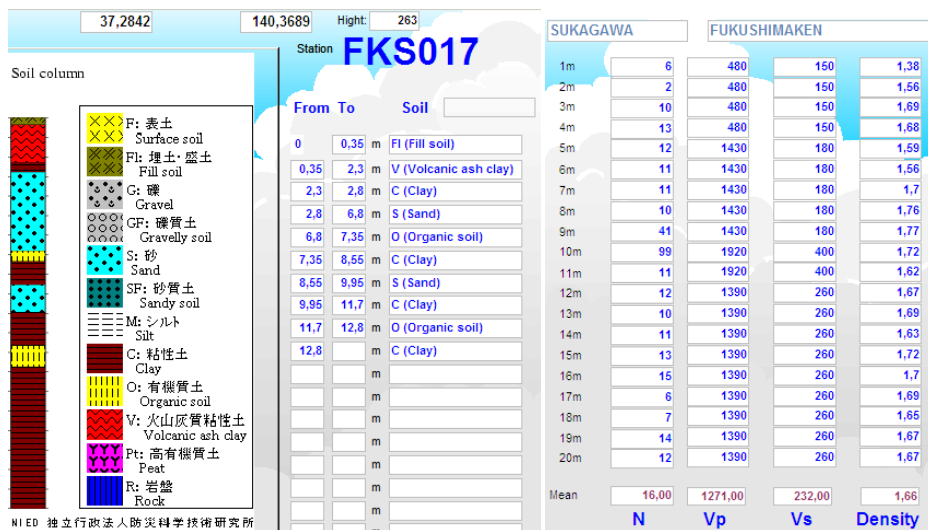


Рис. 3. Грунтовые условия станции FKS017.

FKS031 проявилась значительная интенсивность величиной 9,1 балла, несмотря на то, что грунт, на котором она расположена – скальный (0–20 м).

Выборка 3. Сейсмическое событие от 11.03.2011 г. 14:46 [Kinoshita,2003; Заалишвили и др., 2014]. Магнитуда 9. Диапазон эпицентральных расстояний 240–266 км. $R^2=0,12$. Наибольшая интенсивность проявилась на станции IBR003 (10,8 балла), которая расположена на участке сложенном насыпным грунтом (0–1,7 м), вулканическим пеплом с глиной (1,7–3,8 м), песчаным грунтом (3,8–17,3 м), скальным грунтом (17,3–20,0 м). Наименьшая интенсивность проявилась на станции YMT016 (5,3 балла), под которой расположены грунты: насыпной грунт (0–0,7 м), ил (0,7–1,35 м), глина (1,35–2,5 м), песок (2,5–3,3 м), гравелистый грунт (3,3–20,0 м).

Выборка 4. Сейсмическое событие от 22.11.2014 22:08 [Kinoshita,2003; Заалишвили и др., 2014]. Магнитуда 6,7. Диапазон эпицентральных расстояний 39–49 км. $R^2=0,31$. Наибольшая интенсивность проявилась на станции NGN001 (5,9 балла), расположенной на грунтах: насыпной грунт (0–0,85 м); глина (0,85–2,25 м); песок (2,25–3,5 м); гравелистый грунт (3,4–8,8 м); песчаный грунт (8,8–12,5 м); гравелистый грунт (12,5–20,0 м). Наименьшая интенсивность наблюдалась на станции NGN003 (5,17 балла), которая расположена на грунтах: насыпной грунт (0–1,7 м); гравелистый грунт (1,7–5,7 м); скальный грунт (5,7–20,0 м).

Выборка 5. Сейсмическое событие от 06.10.2000 13:30 [Kinoshita,2003; Заалишвили и др., 2014]. Магнитуда 7,3. Диапазон эпицентральных расстояний 170–179 км. $R^2=0,51$. Наибольшая интенсивность величиной 6,5 балла проявилась на станции TKS002, которая расположена на грунтах: насыпной грунт (0–0,6 м); песок (0,6–12,8; 13,9–14,8 м); ил (12,8–13,9 м; 14,8–20,5 м). Наименьшая интенсивность величиной 5,1 балла проявилась на станции KOC017, которая расположена на грунтах: насыпной грунт (0–0,3 м); скала (0,3–10,2 м). Наименьшая интенсивность величиной 5,1 балла наблюдалась также и на станции NYG015, которая расположена на участке с грунтами: насыпной грунт (0–0,7 м); глина (0,7–2,8 м); песок (2,8–3,3 м); гравий (3,3–7,0 м); гравелистый грунт (7,0–20,0 м).

Результаты по выборкам 1–5 были получены на основе записей одного сейсмического события в каждой выборке. Результаты, полученные на основании исследования записей различных событий в каждой выборке (при зафиксированных значениях магнитуд и диапазонах эпицентральных расстояний), показали, что зависимость между интенсивностью и скоростью поперечной волны более слабая.

Зависимость интенсивности от магнитуды и гипоцентрального расстояния

Рассмотрим теперь зависимости интенсивности (I_{nt}) от магнитуды (M) и от I_g (H) логарифма гипоцентрального расстояния (табл. 4).

Из формул табл. 4 следует, что приращению магнитуды на 1 соответствует приращение интенсивности воздействия на 0,7 балла для скалы, 0,9 – для гравия, 0,9 – для ила, 1,3 – для песка, 1,5 – для глины, 1 – для всех записей.

Уравнение Шебалина

Общее уравнение макросейсмического поля (уравнение Шебалина), связывающего балльность в некоторой точке I_i с магнитудой M , эпицентральной расстоянием Δ и глубиной очага h , имеет вид [Шебалин, 1968; Природные опасности России, 2000]

Таблица 4

**Зависимость интенсивности от магнитуды и логарифма
гипоцентрального расстояния**

Грунт	Формула	R ²
Скала	$Int = 2,43 + 0,69 \cdot M - 1,21 \cdot \lg(H)$	0,26
Песок	$Int = 2,31 + 1,29 \cdot M - 2,38 \cdot \lg(H)$	0,67
Гравий	$Int = 2,25 + 0,86 \cdot M - 1,47 \cdot \lg(H)$	0,33
Ил	$Int = 2,60 + 0,90 \cdot M - 1,53 \cdot \lg(H)$	0,43
Глина	$Int = 1,22 + 1,52 \cdot M - 2,56 \cdot \lg(H)$	0,73
Все	$Int = 2,51 + 1,05 \cdot M - 1,93 \cdot \lg(H)$	0,45

$$I_i = bM - v \log \sqrt{\Delta^2 + h^2} + c,$$

где b , v , c константы (в среднем $b=1,5$, $v=3,5$, $c=3,0$).

Рассмотрим различие формулы авторов для всех записей (табл. 4) с формулой Шебалина. Отметим, что формула Шебалина получена для землетрясений в СССР, а формула авторов – для японских землетрясений. Вследствие различия в коэффициентах, для сравнения был использован такой критерий, как среднеквадратичная относительная ошибка, которая для формулы авторов в интервале 2–12 баллов равна 0,043, для формулы Шебалина в интервале 2–12 баллов равна 0,059. Результаты представлены на рис. 4.

Из последних приведенных цифр следует, что в пределах ошибки формула авторов и формула Шебалина работают с одинаковой точностью.

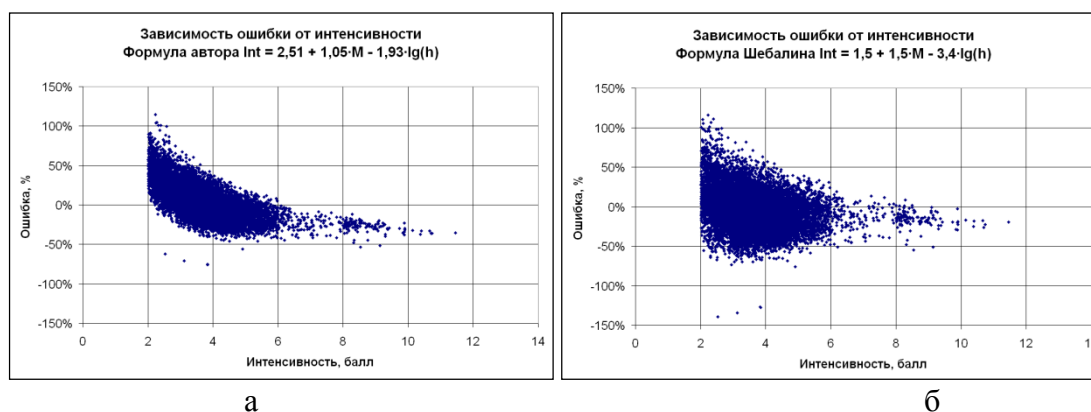


Рис. 4. Зависимость величины среднеквадратичной относительной ошибки от интенсивности при расчете а) – по формуле авторов, и б) – по формуле Шебалина.

**Зависимость интенсивности от магнитуды,
гипоцентрального расстояния и максимального
ускорения**

Попытка добавить в зависимость интенсивности от магнитуды и гипоцентрального расстояния зависимость от скорости поперечной волны показала весьма незначительную долю вклада от скорости поперечной волны, которой можно пренебречь.

Определим формулу зависимости интенсивности на данных [Заалишвили и др., 2014] от магнитуды, ускорения, гипоцентрального расстояния (табл. 5). Наибольший вклад в зависимость вносит логарифм пикового горизонтального ускорения $\lg(\text{Acc})$, затем по значимости идет магнитуда, наименьший вклад, причем отрицательный, вносит логарифм гипоцентрального расстояния $\lg(H)$.

Во-первых, в табл. 5, бросается в глаза очень слабая зависимость интенсивности от расстояния для «жестких» грунтов – скалы и гравия. Это вызвано тем, что колебания на скале и гравии быстрее затухают с расстоянием, нежели на песке, иле или глине.

Из табл. 5 следует, что приращению магнитуды на 1 соответствует приращение интенсивности воздействия на 0,46 балла для скалы, 0,6 – для песка, 0,51 – для гравия, 0,47 – для ила, 0,72 – для глины, 0,52 – для всех записей при одинаковых ускорениях и расстояниях. Увеличение пикового горизонтального ускорения в 10 раз ведет к приращению интенсивности воздействия на 1,76 балла для скалы, 1,72 – для песка, 1,78 – для гравия, 1,72 – для ила, 1,84 – для глины, 1,85 – для всех записей при одинаковых магнитудах и расстояниях.

Таблица 5

Зависимость интенсивности от магнитуды, логарифма гипоцентрального расстояния, логарифма пикового горизонтального ускорения

Грунт	Формула	R ²
Скала	$\text{Int} = -0,50 + 0,459 \cdot M + 1,764 \cdot \lg(\text{Acc})$	0,77
Песок	$\text{Int} = 0,739 + 0,60 \cdot M - 0,709 \cdot \lg(H) + 1,72 \cdot \lg(\text{Acc})$	0,92
Гравий	$\text{Int} = -0,757 + 0,51 \cdot M + 1,775 \cdot \lg(\text{Acc})$	0,84
Ил	$\text{Int} = 0,081 + 0,466 \cdot M + 1,721 \cdot \lg(\text{Acc})$	0,76
Глина	$\text{Int} = -0,044 + 0,718 \cdot M - 0,631 \cdot \lg(H) + 1,84 \cdot \lg(\text{Acc})$	0,91
Все	$\text{Int} = -0,155 + 0,518 \cdot M - 0,245 \cdot \lg(H) + 1,85 \cdot \lg(\text{Acc})$	0,83

Зависимость интенсивности от магнитуды, и максимального ускорения

Ускорения, расстояния и магнитуды логарифмически связаны друг с другом, поэтому разделять вклад от магнитуды, расстояния и ускорения в интенсивность достаточно затруднительно. Если все же пренебречь зависимостью интенсивности от расстояния (оно будет автоматически учтено в магнитуде и ускорении), то получим следующие зависимости (табл. 6).

Таблица 6

Зависимость интенсивности от магнитуды и логарифма пикового горизонтального ускорения

Грунт	Формула	R ²
Скала	$\text{Int} = -0,50 + 0,459 \cdot M + 1,764 \cdot \lg(\text{Acc})$	0,77
Песок	$\text{Int} = 0,12 + 0,388 \cdot M + 1,99 \cdot \lg(\text{Acc})$	0,92
Гравий	$\text{Int} = -0,757 + 0,51 \cdot M + 1,775 \cdot \lg(\text{Acc})$	0,84
Ил	$\text{Int} = 0,081 + 0,466 \cdot M + 1,721 \cdot \lg(\text{Acc})$	0,76
Глина	$\text{Int} = -0,41 + 0,48 \cdot M + 2,19 \cdot \lg(\text{Acc})$	0,90
Все	$\text{Int} = -0,43 + 0,456 \cdot M + 1,934 \cdot \lg(\text{Acc})$	0,83

Сравнение таблиц 5 и 6 показывает, что для одних и тех же грунтов в обеих таблицах R^2 одинаковы. Учет зависимости интенсивности от логарифма гипоцентрального расстояния в таблице 5 дает добавку в R^2 не более 1%, т. е. зависимость от гипоцентрального расстояния уже содержится в зависимости от логарифма пикового горизонтального ускорения.

А сравнивая таблицы 4 и 6 можно сделать вывод, что для грунтов станций KNET формула зависимости интенсивности от магнитуды и логарифма пикового горизонтального ускорения работает с более высоким значением R^2 , чем формула зависимости интенсивности от магнитуды и логарифма гипоцентрального расстояния.

Выводы

1. Исследовано влияние грунтовых условий на параметры сильных грунтовых движений на основе записей базы данных SMDBCGI. Рассматривались 5 типов грунтов: с содержанием скальных пород не менее 99%, с содержанием песка не менее 90%, с содержанием гравия не менее 90%, с содержанием ила не менее 65%, с содержанием глины не менее 60%.

2. Рассмотрена регрессионная зависимость интенсивности от магнитуды, логарифма гипоцентрального расстояния, логарифма пикового горизонтального ускорения и скорости поперечных волн для различных грунтов. Наибольший вклад в зависимость вносит логарифм пикового горизонтального ускорения, затем по значимости идет магнитуда. Наименьший вклад, причем отрицательный, вносит логарифм гипоцентрального расстояния.

3. Рассмотрено различие формулы авторов с формулой Шебалина. Отметим, что формула Шебалина получена для землетрясений в СССР, а формула авторов – для японских землетрясений. Вследствие различия в коэффициентах, для сравнения был использован такой критерий, как среднеквадратичная относительная ошибка, которая для формулы авторов в интервале 2–12 баллов равна 0,043, для формулы Шебалина в интервале 2–12 баллов равна 0,059. Из последних приведенных цифр следует, что в пределах ошибки формула авторов и формула Шебалина работают с одинаковой точностью.

Литература

1. Заалишвили В. Б., Харебов А. К., Харебов К. С. База данных сильных движений «SMDBCGI», Свидетельство о гос. регистрации базы данных № 2014621429 от 10.10.2014

2. Заалишвили В. Б., Харебов А. К., Харебов К. С. Влияние грунтовых условий на интенсивность воздействия сильных грунтовых движений. // В кн.: Сейсмическая опасность и управление сейсмическим риском на Кавказе./ред. А. В. Николаев, В. Б. Заалишвили. Владикавказ: ЦГИ ВНИЦ РАН и РСО-А, 2009. с. 212–219

3. Шебалин Н. В. Методы использования инженерно-сейсмологических данных в сейсмическом районировании. // В кн.: Сейсмическое районирование СССР. Ч. 1, гл. 6. М.: Наука, 1968

4. Природные опасности России. Сейсмические опасности. М.: Крук, 2000, 295 с.

5. Kinoshita S. Kyoshin Net (K-NET), Japan. Int. Handbook of Earthquake and Engineering seismology, v. 81B, 2003, pp. 1049–1056.

INFLUENCE OF THE SOILS TYPES ON THE STRONG GROUND MOTIONS INTENSITY

© 2015 A.N. Baskaev, Sc. Candidate (Tech.), K.S. Kharebov, Sc. Candidate (Tech.)

GPIVSCRAS, Russia, 362002, Vladikavkaz, Markov str., 93 a, e-mail: cgi_ras@mail.ru.

Study of the different soils forms influence on the intensity of the strong ground motions manifestation based on the records data base, created by the authors is carried out. The correlation dependences of intensity on the logarithm of peak horizontal acceleration and on the hypocentral distance separately are obtained for different types of soil (rock, sand, gravel, silt, clay). For the different grounds with the high magnitudes the intensity values in follows descending order: clay, sand, silt, gravel, rock. The conducted investigation showed the weak dependence of intensity on the transverse wave speed. The comparison of the correlation dependences of intensity on the magnitude and on the hypocentral distance for records of database SMDB CGI with Shebalin formula showed that the accuracy of the authors formula for all types of grounds and Shebalin formula is identical in the ranges of error. For the system KNET stations it is better to use the formula of correlation dependence of intensity on the magnitude and on the logarithm of peak horizontal acceleration, than the correlation dependence on the magnitude and on the hypocentral distance logarithm.

Keywords: earthquake intensity, magnitude, horizontal acceleration, hypocentral distance, grounds, data base, strong ground motion.

УДК 551.24 (234.9)

ГАЗОГЛЯЦИОДИНАМИКА – НОВАЯ ОБЛАСТЬ ИССЛЕДОВАНИЙ ЛЕДНИКОВ И СВЯЗАННЫХ С НИМИ ЭНДОГЕННЫХ ОПАСНЫХ ПРИРОДНЫХ ПРОЦЕССОВ КАТАСТРОФИЧЕСКОГО УРОВНЯ

© 2015 М. Г. Бергер, д.г.-м.н., проф.

Северо-Кавказский инновационный центр «Устойчивое развитие горных территорий», 362021, Россия, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Николаева, 44,
e-mail: conf@skgmi-gtu.ru;

Геофизический институт Владикавказского научного центра РАН, Россия,
362002, г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а, e-mail: berger7@rambler.ru

Показаны основания для выделения газогляциодинамики в качестве новой области исследований в науках о Земле. Определены объекты газогляциодинамики. Сформулированы основные задачи газогляциодинамических исследований. Обоснованы место газогляциодинамики в науках о Земле, ее связи и соотношения со смежными науками. Рассмотрены вопросы становления этой области. Охарактеризованы особенности современного этапа развития газогляциодинамики.

Ключевые слова: газогляциодинамика, эндогенные опасные природные процессы, ледниковые катастрофы, внезапные газодинамические выбросы, ледник Колка, Колкинская (Геналдонская, Кармадонская) катастрофа 2002 года, внезапный взрывоподобный направленный газодинамический выброс ледника.

Теории возникают путем инспирированного эмпирическим материалом *понимания*.

В. Паули

Вулканические (газовые) струи действуют пароксизмами; они теснейшим образом связаны с вулканическими извержениями; но иногда они идут еще долго, спустя десятки тысяч лет после окончания извержений.

В. И. Вернадский

[Существует] природное единство двух противодействующих систем пластовых давлений: экзогенной, давящей вниз водно-гравитационной системы нормальных пластовых давлений, и эндогенной, рвущейся вверх газогеодинимической системы пластовых сверхдавлений.

К. А. Аникиев

Реальность является гораздо более сложной, чем мы можем себе вообразить.

И. Р. Пригожин

Ныне естественные науки открыты для всего неожиданного, которое больше не рассматривается как результат несовершенства знания или недостаточного контроля.

И. Пригожин, И. Стенгерс

При переходе от равновесных условий к сильно неравновесным мы переходим от повторяющегося и общего к уникальному и специфичному.

И. Пригожин, И. Стенгерс

Выражение «новое явление» я прилагаю к такому физическому явлению, которое нельзя ни полностью предсказать, ни объяснить на основе уже имеющихся теоретических концепций, и поэтому они открывают новые области исследований.

П. Л. Капица

Наука уже приучила нас к тому, что если какое-то явление, о возможности которого раньше и не подозревали, имеет место хотя бы в одном случае, то оно возможно и вообще.

С. Д. Хайтун

Из конкретной сложности и многообразия явлений природы необходимо выбрать одно-единственное явление, в котором с наибольшей вероятностью ясно и однозначно должны быть воплощены следствия из рассматриваемой теории.

И. Пригожин, И. Стенгерс

Рост научного знания... быстро стирает грани между отдельными науками. Мы все больше специализируемся не по наукам, а по *проблемам*.

В. И. Вернадский

1. Становление газогляциодинамики как новой области исследований в науках о Земле. Некоторые особенности, объекты исследований и задачи газогляциодинамики

Зарождение газогляциодинамики как новой области исследований в науках о Земле и проведение первых исследований в данной области связаны с изучением грандиозной природной катастрофы 20 сентября 2002 г. с эпицентром на леднике Колка (северный мегасклон Центрального Кавказа, Республика Северная Осетия-Алания, Россия), расшифровкой ее эндогенной газодинамической природы, установлением ее причин и механизма протекания [Бергер, 2004, 2006 а, б, в, г, 2007 а, б]. В последующих работах автора (ссылки на некоторые из них приведены ниже) эти исследования получили дальнейшее развитие.

Важнейшим результатом этих исследований и основанием для выделения газогляциодинамики в качестве новой области науки стало установление *нового, ранее неизвестного типа катастрофических эндогенных природных явлений – взрыво-*

подобных направленных газодинамических выбросов ледников. Возможное существование в природе подобных явлений никем ранее даже не предполагалось и, естественно, не ожидалось (хотя, как сейчас ясно, для этого было немало оснований).

Такие крайне редкие, совершенно экстраординарные, уникальные по их особенностям, исключительно опасные, катастрофические по их гигантским масштабам и последствиям природные процессы и связанные с ними события происходили на Земле (в том числе на леднике Колка и в Геналдонском ущелье), безусловно, и ранее, однако их эндогенная газодинамическая природа и взрывоподобный характер протекания до самого последнего времени оставались неизвестными.

Эти явления, весьма специфические по особенностям процессы их, безусловно, длительной подготовки, почти мгновенного пароксизмального протекания и также весьма своеобразного и показательного по характеру продолжительного постпароксизмального завершения, с учетом их геодинамического характера, вызывающих их движущих сил и условий их проявления, были названы автором *газогляциодинамическими*, а область их изучения, соответственно, – *газогляциодинамикой*.

Говоря более развернуто, установление (выявление) подобных процессов и явлений, их диагностика (идентификация), описание, углубленное изучение, геодинамическая и генетическая характеристика – объяснение причин (действующих факторов), условий и механизма подготовки, запуска, протекания, прекращения и постпароксизмального завершения, прогнозирование, регулирование и, по возможности, предотвращение – *основные задачи газогляциодинамики* – новой области исследований в науках о Земле.

Важно подчеркнуть, что подобные явления и вызывающие их процессы не могут быть вполне адекватно их сущности удовлетворительно описаны, охарактеризованы, диагностированы и объяснены в рамках существующих представлений о динамически неустойчивых ледниках, с использованием понятийно-терминологического аппарата динамической гляциологии и классической географии в целом.

И безуспешность всех предпринятых гляциологами многолетних попыток охарактеризовать и объяснить Колкинскую (Геналдонскую, Кармадонскую) катастрофу 2002 г. (как и геодинамически подобную ей катастрофу 1902 г. также с эпицентром на леднике Колка) показала это с полной очевидностью.

Не могут быть такие явления и предсказаны на основе существующих теоретических представлений о развитии динамически неустойчивых ледников, что со всей очевидностью показал неоправдавшийся прогноз В.Г. Ходакова [1974] и К.П. Рототаева [Рототаев и др., 1983]. (Краткая оценка попыток оправдания этого прогноза дана в работе [Бергер, 2007 б, с. 94–96].) Имеющиеся в динамической гляциологии теоретические концепции не предполагают самого существования в природе подобных явлений.

Как было показано [Бергер, 2007 б], такие явления неоднократно происходили в истории развития ледника Колка.

Есть основания полагать, что именно такой характер имели гигантские ледниковые катастрофы XVIII–XX вв. и на некоторых других горных ледниках Центрального Кавказа, Закавказья, Перуанских Анд и Кордильер.

Еще в 2006 г. (статья была сдана в печать в октябре 2004 г.) автор [Бергер, 2006 а] отметил гетеротипию и гетерогению (гетерогенетичность) пульсаций ледника Колка, выделив в развитии этого ледника два принципиально различных типа пульсаций –

гляциодинамические (быстрые подвижки) и газодинамические (взрывоподобные выбросы ледника).

Как было отмечено [там же], ледник Колка является сложной неравновесной, динамически неустойчивой природной системой, состояние и развитие которой определяются, прежде всего, с одной стороны, аккумуляционно-абляционными процессами и бронированием ледника поверхностной мореной, что обуславливает устойчивый положительный масс-баланс ледника, возрастание массы ледника вплоть до критических ее значений и вызываемое этим периодическое проявление его релаксационных *гляциодинамических пульсаций* – продолжительных (многомесячных) быстрых подвижек (наступаний), происходящих, как известно, без отрыва наступившей части ледника от его основной части, продолжающей оставаться в пределах основного, планового контура ледника. Эта сторона динамики ледника Колка глубоко исследована К. П. Рототаевым, В. Г. Ходаковым и А. Н. Кренке [1983] на примере его подвижки 1969–1970 гг.

С другой стороны, развитие ледника Колка определяется процессами подледниковой аккумуляции поствулканических и иных природных газов и экранированием ледником образующихся газовых скоплений, что обуславливает повышение давления газа в этих скоплениях вплоть до критических его значений и вызываемое этим периодическое проявление *газодинамических пульсаций* (почти мгновенных катастрофических пароксизмальных выбросов) ледника. Их подготовке и проявлению благоприятствуют периодическое интенсивное поступление (сосредоточенный концентрированный прорыв) большого количества высоконапорных глубинных преимущественно поствулканических природных газов в подледниковое пространство в ходе их восходящей миграции; исключительно высокие экранирующие свойства ледниковой покрывки, благодаря чему ледник даже при сравнительно небольшой его мощности может выполнять роль надежного газоупора; наличие карового углубления под ледником, выполняющего роль геоморфологической ловушки природных газов; поверхностное залегание ледника, благодаря чему он изначально обладает свободной поверхностью; небольшая мощность ледника (десятки метров) и весьма пологое его залегание; весьма низкие плотностные свойства льда и другие природные факторы. (В последующих работах автора приведенный перечень подвергся углубленному анализу и был несколько расширен).

Эта сторона динамики ледника Колка установлена автором впервые, причем не только для этого ледника, но и в целом в динамической гляциологии, как и в динамической геологии и смежных с ними областях знаний.

* * *

Наиболее изученный пример, так сказать, эталон, генотип (генотипический образец) газогляциодинамических явлений – взрывоподобный направленный газодинамический выброс ледника Колка 20 сентября 2002 г. (Колкинская катастрофа, более известная как Кармадонская или Геналдонская).

При всей уникальности Колкинской катастрофы и крайне недостаточной изученности подобных ей событий в их эпицентральных зонах эта катастрофа, безусловно, не является единственным событием такого рода.

К числу подобных событий с достаточным основанием можно отнести, прежде всего, катастрофические выбросы ледника Колка 1902, 1752 гг. и, безусловно, неоднократно происходившие, но не имеющие датировки более ранние катастрофи-

ческие пароксизмальные выбросы этого ледника, Уаскаранские катастрофы 1970 и 1962 гг. и более ранние, признаки (следы) проявления которых известны, Ара-ратские катастрофы 1840 г., Девдоракские катастрофы 1832, 1776 гг. и некоторые другие.

В случаях зафиксированного полного проявления подобных событий можно выделить следующие основные стадии их протекания в эпицентральной и сопредельной с ней зонах – подготовительную, предпароксизмальную (весьма важную, прежде всего, в прогностическом отношении); основную, пароксизмальную (особенности которой, естественно, наиболее существенны в диагностическом плане, для определения геодинамического типа, механизма протекания и установления причин катастрофы) и заключительную, постпароксизмальную (также весьма специфическую и показательную, прежде всего, в плане диагностики типа и установления причин катастрофы).

Хотя основное количество вызывающих внезапный выброс ледника сжатых газов, скопившихся непосредственно под ледником, выбрасывается в момент катастрофы и не может быть зафиксировано при отсутствии заранее спланированных наблюдений, а также отсутствии благоприятных условий для наблюдения, некоторые признаки газогляциодинамических событий, прежде всего, продолжительное интенсивное постепенно затухающее концентрированное поверхностное газовыделение, весьма существенные для определения характера этих событий и выявления их причин (действующих, вызывающих факторов), вполне наглядно могут проявиться и быть непосредственно выявлены, наблюдаемы, документально зафиксированы и изучены, в том числе с применением химико-аналитических методов, лишь на последней, заключительной (постпароксизмальной) стадии, после удаления (выброса) ледника или его значительной части, т.е. после удаления газопорного барьера (экранирующей крышки) и раскрытия бывшего подледникового пространства, в пределах которого на предварительной (предпароксизмальной, подготовительной) стадии создаются, а на основной (пароксизмальной) стадии катастрофы реализуются условия, необходимые для проявления взрывоподобного газодинамического выброса ледника.

Очень важные, вполне показательные и, в своей совокупности, геодинамически и прогностически однозначные *диагностические признаки* подготовки катастрофических *газогляциодинамических событий* проявляются, конечно, и на предпароксизмальной стадии и могут быть зафиксированы при проведении заранее спланированных соответствующих наблюдений.

Помимо продолжительной резкой интенсификации обвалов с окружающих ледник склонов и также продолжительного устойчивого аномального (происходящего даже в сезон таяния и дождей) значительного понижения уровня поверхностных вод в бассейне ледника (инфильтрационного, а также других гидрогеодинамических, гидрогеохимических и гидрогеотермальных эффектов), к числу таких признаков относятся, прежде всего, проявления аномальных поверхностных газовыделений в приледниковой зоне и значительное повышение напряженности состояния горнопородного массива в районе ледника. Последнее выражается в проявлении различных геомеханических, обвальных, сейсмических, электромагнитных и акустических эффектов на леднике, вблизи от него и даже на удалении от него (особенно в зонах повышенной чувствительности земной коры) и может сопровождаться (особенно при большой мощности готовящегося события) многочисленными

биопредвестниками (беспокойством и аномальным поведением животных). Само собой разумеется, что ни ускоренное нарастание массы ледника, вызванное его обвальной пригрузкой, ни готовящееся иногда предполагаемое обвально-ударное «выбивание» ледника, ни настойчиво предполагаемое гляциологами накопление аномально большого количества воды в леднике или под ним не могут обусловить проявление этих предвестников.

Еще одним из важных диагностических признаков подготовки катастрофических газогляциодинамических явлений (и, соответственно, их предвестников) может служить установленный автором [Бергер, 2007 а, с. 31 и 54–55; и др.] для подготовительной стадии взрывоподобного газодинамического выброса ледника Колка 2002 г. *эффект газового домкрата*, представляющий собой одно из специфических газогляциодинамических проявлений известного в механике подземного взрыва на выброс поршневого действия газов.

В случае наиболее изученной гигантской по масштабам Колкинской катастрофы 2002 г. все эти стадии проявились (и в значительной мере документально зафиксированы) наиболее полно, наглядно, исключительно ярко и мощно и, в силу их крайней необычности и специфичности, совершенно однозначно в генетическом и диагностическом отношениях – как признаки подготовки, проявления и постпароксизмального завершения именно взрывоподобного направленного газодинамического выброса ледника.

С учетом этого, в данной работе значительное внимание уделяется леднику Колка и его пароксизмальной катастрофической пульсации (взрывоподобному направленному газодинамическому выбросу) 2002 г., изучение которых лежит в истоках решения многих общетеоретических вопросов в данной области (а во многом – и самой их постановки).

* * *

Как было показано в предыдущих работах автора, основными движущими силами (управляющими природными факторами), вызывающими периодически повторяющиеся подобные пароксизмальные катастрофические пульсации ледника Колка, определяющими их характер, особенности подготовки, протекания и завершения и периодичность проявления, являются, прежде всего, гигантские, значительно превышающие предельные для геодинамической системы ледника Колка, напряжения, вызываемые восходящей концентрированной (струйной) миграцией (пароксизмальным прорывом непосредственно под ледник, представляющий собой жестко ограниченный ледовой облицовкой и боковыми породами локальный непроницаемый барьер) и быстрым накоплением под ледником огромных количеств высоконапорных глубинных (преимущественно поствулканических) природных газов и их пульсационно быстро возрастающим сверхвысоким пластовым давлением в подледниковом пространстве.

Накапливавшиеся в подледниковом пространстве непосредственно под ледником Колка высоконапорные природные газы, вероятно, были в той или иной мере разогретыми отчасти в связи с их глубинным поствулканическим происхождением, а отчасти в связи с их сжатым состоянием и аномальным сверхвысоким пластовым давлением под ледником. Все это содействовало отделению и отжатию ледника от его ложа еще на подготовительной стадии газодинамического выброса ледника (на ее заключительном этапе), развитию процессов трещинообразования в леднике, ос-

лаблению сил сцепления ледника с боковыми породами и, в конечном итоге, взрывоподобному газодинамическому выбросу ледника, снижая необходимые для этого энергозатраты.

Процесс гигантского по масштабам (площади эпицентральной зоны, количеству выброшенного материала, дальности его движения, прерванного лишь непреодолимой механической преградой Скалистого хребта, объему и площади образовавшегося перед Скалистым хребтом навала) взрывоподобного направленного газодинамического выброса ледника Колка, при всей его скоротечности, носил, безусловно, неодномоментный, пульсационный, волновой характер, как это обычно бывает при известных природно-техногенных внезапных газодинамических выбросах особенно крупного масштаба, – начавшись в тыльной части ледника, он в течение немногих минут волнообразно распространился практически на всю площадь ледника.

Именно это (а не предполагаемая [Никитин и др., 2007, с. 3], но не способная ничего объяснить кинематика обвально-ударного воздействия на ледник) изначально обусловило волновой, пульсационный, стадийный, последовательный характер движения выброшенного ледово-каменного материала и установленную М. Ю. Никитиным с соавторами [2007 и др.] неоднофазность его накопления.

Весьма часто, впрочем, в качестве причин Колкинской катастрофы, а также других катастрофических газогляциодинамических (по всем известным их особенностям) явлений, видимо, по инерции, без учета и объяснения их особенностей, в соответствии с существующими гляциодинамическими представлениями, называют факторы, традиционно считающиеся причинами обычных (типичных) быстрых подвижек ледников и некоторых других чисто гляциальных по происхождению, собственно гляциодинамических явлений, – накопление ледником необходимой для обычной быстрой подвижки либо для срыва (обвала, обрушения) ледника или его части критической массы, наличие водной или водно-глинистой смазки на ложе ледника, накопление аномально большого количества воды в леднике или под ним, превышение сдвигающих (срывающих) сил над силами, препятствующими сдвигу (срыву) ледника и т.п., а также некоторые выходящие за эти рамки внешние события – землетрясения, обвальные удары по леднику, вулканический разогрев.

Но если бы причинами Колкинской и подобных ей по особенностям протекания ледниковых катастроф, действительно, были эти факторы, то и результатом их действия была бы обычная гляциодинамическая подвижка, подобная многим сотням известных ледниковых подвижек, типа многомесячных быстрых подвижек того же ледника Колка в 1969–1970 и 1834–1835 гг. (и, вероятно, более ранних), сдвиг или срыв ледника, а не катастрофический пароксизмальный взрывоподобный направленный газодинамический выброс ледника, как это было на самом деле 20 сентября 2002 г. на леднике Колка, а вполне вероятно, и в некоторых других случаях.

Нельзя не заметить также, что все эти условия, факторы и события, часто привлекаемые в качестве предполагаемых причин Колкинской катастрофы 2002 г., в той или иной мере существовали, действовали и происходили и ранее, и позднее, и на леднике Колка, и на других ледниках, не вызывая, однако, подобных катастрофических последствий.

Отсюда со всей очевидностью следует, что причиной Колкинской катастрофы и подобных ей по характеру ледниковых катастроф было действие совершенно иных природных факторов, принципиально отличающихся от изучаемых динамической гляциологией.

Как установлено автором, периодически (хотя и не строго периодически) происходящие концентрированные прорывы огромных количеств высоконапорных глубинных поствулканических газов непосредственно под ледник Колка (а отчасти – и в сопредельную с ним зону) – основная исходная причина, приводящая к повторяющимся катастрофическим пароксизмальным взрывоподобным направленным газодинамическим выбросам ледника Колка, одним из которых был его выброс 20 сентября 2002 г.

Катастрофический газодинамический выброс ледника (газоледокаменный выброс, по составу выбрасываемого в ходе его проявления материала) – последний, заключительный этап на весьма протяженном и продолжительном пути пульсационного продвижения высоконапорных глубинных природных газов к земной поверхности под действием сил, определяемых градиентом пластового газового давления на различных гипсометрических уровнях.

При всей внезапности взрывоподобного проявления газодинамических выбросов и крайней скоротечности, почти мгновенности их протекания, они всегда за многие недели предвостоятся многочисленными весьма разнообразными по характеру предвестниками, выявление и углубленное изучение которых должно быть основой прогнозирования таких выбросов и, соответственно, должно определять систему методов мониторинга состояния ледника и сопредельной с ним зоны.

Особенно велика вероятность проявления газогляциодинамических событий (катастрофических взрывоподобных газодинамических выбросов ледников) в областях современной поствулканической или, более широко, близповерхностной постмагматической деятельности, что обеспечивает генерацию (выделение), накопление и концентрированный прорыв в верхние горизонты значительных количеств высоконапорных природных газов – главного действующего фактора, вызывающего газодинамические выбросы ледников и определяющего все их основные особенности.

В этих областях состояние и развитие некоторых ледников (не только газовыбросоопасных), вообще, в очень большой степени зависит от эндогенных флюидогеодинамических процессов, протекающих в их литосферном субстрате, в том числе на значительной глубине.

Установление характера в каждом конкретном случае, углубленное изучение и учет этой зависимости – одно из важнейших условий эффективности работ по выявлению и прогнозированию развития катастрофических эндогенных природных процессов, связанных с газодинамически неустойчивыми, газовыбросоопасными ледниками, а в дальнейшем, возможно, и работ по регулированию протекания этих процессов и предотвращению их негативных последствий.

Решение этих задач возможно лишь в рамках нового раздела в науках о Земле, названного автором *газогляциодинамикой*.

При этом наиболее крупными объектами (так сказать, мегаобъектами) исследований газогляциодинамики должны быть гигантские по масштабам сложные полиэлементные гетерофазные лито-газо-гидро-гляциальные природные геодинамические системы (мегасистемы), включающие не только ледники и области их питания, но и их литосферный субстрат (в том числе его глубинные зоны), принципиально отличающиеся от изучаемых традиционной гляциологией и, в целом, классической географией гляциологических природных систем, «свойства и динамика которых определяются льдом» (по определению В. М. Котлякова [1979, с. 180]).

В этой связи необходимо подчеркнуть (и это чрезвычайно важно для успешного изучения газогляциодинамических явлений), что газогляциодинамика не является частью динамической гляциологии в ее традиционном понимании.

Согласно развиваемым автором представлениям, пароксизмальные катастрофические взрывоподобные направленные выбросы ледников обусловлены вполне закономерными особенностями развития гигантских природных геодинамических (лито-газо-гидро-гляциодинамических) систем (мегасистем), включающих ледники в качестве лишь одного из своих элементов.

Сказанное в первую очередь относится к леднику Колка и включающей его геодинамической системе, а также к некоторым другим ледникам Казбекской группы, но, как есть основания полагать, не только к ним.

Изучение подобных геодинамических систем и закономерностей их развития, во многом определяющих специфику проявлений динамической нестабильности входящих в их состав ледников, как и изучение самих этих проявлений, имеющих иногда совершенно экстраординарный (не только по масштабам, но и по своей сути) характер, безусловно, далеко выходит за рамки традиционной динамической гляциологии.

С учетом специфики изучаемых ею объектов, газогляциодинамика находится на стыке, прежде всего, газогеодинимики, геомеханики, геологии, вулканологии и динамической гляциологии, соприкасается с ними и должна учитывать и использовать в своих исследованиях их результаты.

Исключительное значение для изучения газогляциодинамических явлений, их установления, реконструкции процессов их подготовки и протекания имеет детальная расшифровка инструментальных записей их сейсмического сопровождения [Заалишвили и др., 2004, 2005 а, б, 2007; Заалишвили, Мельков, 2008 а, б, 2012; Заалишвили, Харебов, 2008; и др.]. Сейсмический режим газогляциодинамических явлений до Колкинской катастрофы 2002 г. не изучался и, соответственно, имеющиеся результаты ее сейсмологического изучения зарождают важную часть газогляциодинамики – *газогляциодинамическую сейсмологию*, принципиально подобную по своему значению вулканической сейсмологии – получившей большое развитие необходимой составной части вулканологических исследований.

С другой стороны, эти области, в свою очередь, также должны учитывать результаты газогляциодинамического изучения внезапных взрывоподобных направленных газодинамических выбросов ледников, прежде всего, их реальность, само существование подобных явлений и, соответственно, возможность их повторения.

Это касается, прежде всего, динамической гляциологии, особенно, естественно, той ее части, которая исследует и прогнозирует развитие динамически неустойчивых ледников (обычно именуемых пульсирующими). В частности, как писал автор еще около десяти лет назад [Бергер, 2007 б, с. 96], сейчас никакие прогнозы развития ледника Колка без учета газодинамической природы его катастрофических пульсаций (пароксизмальных выбросов), естественно, уже невозможны.

С учетом же, безусловно, эндогенной, преимущественно поствулканической природы газогляциодинамических явлений, вызывающих их причин, действующих факторов, которые определяют основные особенности подготовки, протекания и завершения этих пароксизмальных катастрофических явлений, газогляциодинамика в генетическом плане, а также в диагностическом, реконструктивном и прогностическом отношениях наиболее тесно смыкается, конечно, не с гляциологией,

а с вулканологией (включая вулканическую сейсмологию [Токарев, 1966, 1981 а, б; Гордеев, 1985; Горельчик и др., 1987; McNutt, 2005; и мн. др.]). И это вполне естественно с учетом геодинамической (газогеодинамической) и генетической (по характеру основного действующего фактора – высоконапорных сжатых глубинных газов) близости взрывоподобных газогляциодинамических явлений (выбросов) и также взрывоподобных (взрывных, эксплозивных) вулканических извержений (также нередко именуемых выбросами), генетически характеризуемых Г. Макдоналдом [1975, с. 125] следующим образом: «мгновенные или длительные, слабые или сильные – все вулканические эксплозии являются результатом выделения газа, который находился под давлением».

Необходимо иметь в виду, что, согласно оценкам В.В. Адушкина и др. [1984, с. 7], «сильные вулканические эксплозивные извержения не могут быть полностью отождествлены с одноактными взрывами на выброс». При всей их крайней скоротечности, составляющей немногие минуты, исключительно сильные пароксизмальные взрывоподобные газогляциодинамические явления (внезапные газодинамические выбросы ледников), безусловно, также не тождественны одноактным (одномоментным, мгновенным) взрывам на выброс.

При этом, в плане понимания современного состояния газогляциодинамики, необходимо учитывать, в частности, что, по мнению одного из крупнейших современных вулканологов Г. Макдоналда [1975, с. 9], вулканология – наука, которая находится еще на ранней стадии развития (и это – при весьма длительной истории вулканологических исследований в различных странах, огромном числе происходивших, непосредственно наблюдавшихся и детально изученных вулканических извержений и огромном количестве публикаций в данной области! – М. Б.) и только «в будущем, несомненно, приобретет то важное значение, которого она заслуживает».

* * *

Одной из наиболее изученных (но, безусловно, недостаточно изученных) геодинамических систем – объектов газогляциодинамических исследований является сложная гетерофазная полиэлементная система ледника Колка.

Эта система, включающая в качестве одного из своих элементов пульсирующий ледник Колка, принадлежит к особому типу неустойчивых динамических систем с субгоризонтально (слабонаклонно) залегающим непроницаемым барьером со свободной поверхностью.

С учетом весьма специфических особенностей их массоэнергообмена с окружающей средой, такие системы (прежде всего, их основное по объему нижнее полупространство, расположенное ниже непроницаемого барьера) автор предложил считать и именовать *полуоткрытыми*.

Расположенная в области активно протекающей поствулканической (в том числе газовой) деятельности, обусловленной интенсивными процессами генерации и восходящей миграции поствулканических флюидов, в том числе газовых струй и мощных гидродинамически сосредоточенных потоков глубинных высоконапорных поствулканических газов, эта система, с учетом особенностей ее геологического (в частности, структурно-тектонического) положения и внутреннего строения, выбросоопасна, т.е. предрасположена к нестрого периодически повторяющимся катастрофическим взрывоподобным направленным газодинамическим выбросам ледника Колка.

Разработанные автором представления о геодинамической системе ледника Колка как сложной неустойчивой динамической системе и особенностях ее развития, приводящих к повторяющимся пароксизмальным взрывоподобным газодинамическим выбросам этого ледника, полностью согласуются не только со всеми имеющимися весьма многочисленными фактами по Колкинской проблеме, но и с современными положениями геологии, геомеханики, газогеодинамики, термодинамики необратимых процессов и смежных областей науки.

Выявление и детальное (прежде всего, геологическое) изучение подобных современных и палеогеодинамических систем с газодинамическими позициями – исключительно важная научная и прикладная задача будущего. Начало соответствующих работ положено исследованиями геодинамической системы ледника Колка. Более широкое распространение подобных исследований можно ожидать лишь после широкого признания представлений о газодинамической природе катастрофической пульсации ледника Колка 2002 года. Одновременно станут возможными разработка и создание научно обоснованных и эффективных систем мониторинга (отслеживания) подготовки и средне- и краткосрочного прогнозирования подобных катастроф.

* * *

Важнейшими задачами газогляциодинамики являются, прежде всего, выявление, изучение и описание взрывных (взрывоподобных) пароксизмальных ледниковых катастроф и оставленных ими следов, особенно в их эпицентральных зонах, а также зонах транзита (инерциального движения) выброшенного материала и его отложения (аккумуляции). При этом газогляциодинамические явления (наиболее изученные на примере Колкинской катастрофы 2002 г.) обнаруживают много общего с глубоко изученными техногенными малозаглубленными (близповерхностными) взрывами на выброс, особенно направленными, которые в большой мере могут служить натурными (и лабораторными) моделями взрывоподобных направленных газодинамических выбросов ледников.

В частности, как показали по результатам лабораторных исследований А. Н. Ромашов и Н. Н. Симонов [1968], при близповерхностном положении гипоцентра (при малых заглублениях заряда) образующаяся *воронка (полость выброса)* имеет чашеобразную форму.

Именно как чашеобразную (как «огромную пустую чашу») определили форму полости выброса ледника Колка гляциологи [Котляков и др., 2014 а, с. 238; 2014 б, с. 125], так и не сумевшие, впрочем, понять и объяснить причину и механизм практически мгновенного образования этой гигантской «чаши», заключенный в ней генетический смысл. Соответствующий круг вопросов рассмотрен в специальной работе [Бергер, 2012 б].

Другие особенности этой воронки на начальной стадии ее существования, например, практически вертикальные борта на уровне свободной поверхности, также полностью соответствуют установленным особенностям воронок при взрывах на выброс [Ромашов, Симонов, 1968, с. 47] (в последующем эта особенность, естественно, не сохраняется).

* * *

Особый интерес представляют *отложения* взрывоподобных направленных газодинамических выбросов ледников, слагающие разнофациальные, литологически

(в частности, гранулометрически) различные накопления нового, ранее неизвестного и пока малоизученного генетического типа осадочных образований.

Может быть, особенно характерным, показательным для отложений этого генетического типа является наличие в их составе гигантских ледяных глыб и огромного количества мелко- и тонкодисперсного ледяного и каменнопородного (моренного) материала.

При этом в генетическом плане особенно показательным наличие огромного количества тонкодисперсного материала в непосредственной близости от эпицентра выброса (а не только на большом удалении от него) и наличие гигантских ледяных глыб в навалу на огромном удалении от эпицентра выброса (а не только в непосредственной близости от него, в частности, не только в виде так называемых «останцов»).

Проведение на основе газогляциодинамических представлений детальных литолого-генетических исследований отложений этого генетического типа – важная и актуальная геологическая задача.

Вообще, геологическая изученность, генетическая расшифровка и диагностика отложений даже гораздо более частых и распространенных катастрофических явлений, чем газодинамические выбросы ледников, например, ураганов или бурь, совершенно недостаточны, в связи с чем выдающийся геолог академик Д. В. Наливкин [1969, с. 84] писал: «...Получилось своеобразное, интересное, но не совсем приятное явление. В геологической истории отсутствуют все ураганы, бури и штормы даже для верхнего голоцена, в течение которого они безусловно были. Это одно из слабых мест геологов. Катастрофических явлений они боятся и не умеют их находить». И в другом месте [Наливкин, 1969, с. 376]: «Геологи в своих объяснениях прибегают обычно к помощи моря (или, более широко, воды. – М. Б.) и тектоники: чуть что-нибудь новое – сразу говорят о морских отложениях и тектонических движениях».

При пароксизмальных газогляциодинамических явлениях (взрывоподобных направленных газодинамических выбросах ледника) гигантские глыбы льда и ледово-каменного материала с огромной скоростью субгоризонтально могут переноситься на многие километры и никаким воздействием воды, тектоники или «гравитационного агента переноса» объяснить это невозможно. Как и при взрывных вулканических извержениях (направленных вулканических взрывах) и техногенных направленных взрывах на выброс это может происходить только в результате очень мощного взрывного газодинамического воздействия на выбрасываемый материал.

Совершенно однозначен и высокобарический взрывной генезис и основного количества тонкодисперсного материала этих отложений.

* * *

Одними из важнейших задач газогляциодинамики являются прогнозирование газогляциодинамических явлений, обнаружение и изучение их предвестников, прослеживание связей, соотношений, зависимостей между различными природными эффектами (явлениями, признаками) предпароксизмальной стадии подготовки внезапного газодинамического выброса ледника, особенностями пароксизмальной стадии (кратковременной стадии проявления выброса) и постпароксизмальными эффектами (аномальные по характеру, интенсивности и другим особенностям проявления поверхностные газовыделения, обвальная-оползневая деятельность, селе-

вые процессы, гидроминеральные и гидротермальные явления и др.), которые прослеживаются в течение многих дней, недель, месяцев и даже лет после внезапного газодинамического выброса ледника и которые, как и особенности (признаки, следы) самого выброса и его предвестники, проявляются как в эпицентральной и близкой к ней плейстопароксизмальной областях, так и на различном удалении от эпицентра выброса в гораздо более обширной телепароксизмальной области.

При этом, если проявление предпароксизмальных эффектов (предвестников) в значительной мере (особенно поначалу, задолго до выброса) является скрытым и, соответственно, трудноопределимым, то весьма специфические по характеру постпароксизмальные эффекты внезапного газодинамического выброса ледника, являющиеся продолжением и завершением не только самого выброса, но и его предпароксизмальных эффектов, могут быть более явными и очевидными (особенно в эпицентральной зоне выброса и в непосредственной близости от нее), наглядно демонстрируя газодинамическую и, в целом, эндогенную природу выброса, его основные движущие факторы (причины) и одновременно проясняя генетическую сущность (происхождение) и прогностическое значение ряда предвестников выброса, предупредительный смысл их проявления и локализации (как и отсутствия, например, отсутствия каких-либо признаков поверхностного газовыделения над ледником при наличии таких признаков в сопредельной с ним зоне зарождения аномально интенсивных обвалов на ледник Колка в августе-сентябре 2002 г.).

В этом плане, в частности, еще около десяти лет назад автор писал: «Происходившие в течение длительного времени перед катастрофой (а затем продолжавшиеся многие месяцы после нее) интенсивные обвалы с г. Джимарайхох и ее отрогов на ледник Колка были *не причиной* катастрофы на леднике Колка, представлявшей собой внезапный газодинамический выброс ледника, а *естественным следствием* (и характернейшим признаком, индикатором) ее длительной интенсивной подготовки, вызванной продолжительным мощным прорывом к земной поверхности огромного количества высоконапорных глубинных поствулканических природных газов. Процессы подготовки этой грандиозной природной катастрофы были столь мощными и масштабными, что их проявления, естественно, не ограничивались лишь площадью самого ледника Колка, а распространялись и на приледниковую территорию, особенно – по разломным зонам» [Бергер, 2007 а, с. 60]. И далее: «Обвалы с г. Джимарайхох на ледник Колка, при всех их гигантских размерах (интенсивности) не сыграли столь уж существенной роли в катастрофе на леднике Колка и в Геналдонском ущелье. Они не были ни главной, ни даже второстепенной причиной этой катастрофы, а представляли собой лишь естественное, закономерное и неизбежное *следствие* развития начавшихся на значительной глубине и достигших земной поверхности интенсивных *эндогенных процессов подготовки этой грандиозной катастрофы, которые в конечном итоге и привели к взрывоподобному внезапному газодинамическому выбросу ледника*» [Бергер, 2007 а, с. 118]. (В 2014 г. основные из этих заключений, но без ссылок на автора, в кратком изложении были повторены гляциологами [Котляков и др., 2014 б, с. 110].)

Более развернутое рассмотрение этого круга вопросов, которым нередко придается исключительно большое значение в расшифровке причин и механизма Колкинской катастрофы 2002 г. и некоторых других гигантских ледниковых катастроф (в частности, Уаскаранских), проведено в работе [Бергер, 2012 в]. Повторим основной итог этого рассмотрения: обвалы, как и многие другие аномальные природные

явления, происходившие в июле-сентябре 2002 г. на леднике Колка, в области его питания и сопредельной с ними зоне, сопутствовали подготовке газодинамического выброса ледника Колка, предваряли и предвещали его, но не были ни главным, ни даже второстепенным, дополнительным фактором, действие которого является необходимым условием его проявления; для проявления газодинамического выброса ледника требуется выполнение целого ряда совершенно иных условий.

Специфическими особенностями газогляциодинамических событий являются, прежде всего, их пароксизмальный взрывоподобный характер, разрушение ледника до его ложа, исключительная скоротечность протекания, продолжительность которого не превышает немногих минут, и сравнительно большая длительность подготовки, которая в проявляющемся на поверхности достаточно явном виде составляет около двух месяцев, но в различных случаях в той или иной мере, вероятно, может варьировать (при этом случаи нередкого продолжительного отсутствия наблюдений за ледниками не имеют в виду).

В недавних публикациях [Бергер, 2012 а, б, в, г; 2015 а, б] автор затронул некоторые остающиеся недостаточно освещенными и дискуссионными вопросы изучения газодинамического выброса ледника Колка 2002 г. и связанные с ними вопросы газогляциодинамики. К этому же кругу относятся и многие другие во многом общие вопросы изучения газодинамических и газогляциодинамических явлений.

* * *

Один из крупнейших специалистов в области изучения газодинамических явлений в угольных шахтах Б.М. Иванов [2005, с. 153] пишет: «Как известно, первый внезапный выброс угля и газа (внезапное выделение газа и угольной мелочи) зарегистрирован в 1834 году на шахте «Исаак» бассейна Луары во Франции. Это следует понимать так, что до 1834 года, возможно, многие десятки лет происходили подобные явления различного масштаба в рамках необычных повышенных газовыделений и лишь в 1834 г. научно-техническая мысль созрела до понимания необходимости классификации этого явления как самостоятельного типа, имеющего свои характерные (в том числе физические) особенности по причинам и механизму проявления».

В течение всего этого времени и, безусловно, задолго, за многие сотни и тысячи лет до этого, конечно, происходили и внезапные газодинамические выбросы («обвалы», «срывы», «сходы») ледников, в частности, «срыв» ледника Колка в 1752 г. Но лишь после гигантской пароксизмальной катастрофы на леднике Колка и в Геналдонском ущелье 20 сентября 2002 года наука (но, естественно, не географическая, в частности, не гляциология) дошла до понимания того, что они собой представляют, каковы их причины и механизм проявления, до выявления их газодинамической природы и, соответственно, установления достаточно близкой физической (геомеханической) аналогии между ними и внезапными газодинамическими (газопородными) выбросами в подземных горных выработках (при всех естественных, закономерно обусловленных различиях между ними). Выявление, идентификация и изучение внезапных газодинамических выбросов ледников, происходивших в относительно недавнем и более отдаленном геологическом прошлом, – важнейшая задача исторической и палеогазогляциодинамики.

Детальному изучению, описанию особенностей, выявлению причин, раскрытию механизма внезапных газодинамических выбросов в подземных условиях по-

священы многие тысячи публикаций. Отметим лишь некоторые из них из числа сравнительно недавних.

В частности, в рудниках калийных месторождений отмечаются следующие особенности газодинамических явлений: внезапность, большая мощность (энергия), высокая скорость разрушения породного массива, разлетающиеся куски породы, выделяющиеся горючие и ядовитые газы, ударная воздушная волна [Щерба, 2004; Щерба и др., 2004].

В. Е. Забигаило, А. З. Широков и др. [1980, с. 10–11] отмечают, в частности, следующие признаки подготовки и протекания газодинамических явлений в угольных шахтах:

- 1) повышенное газовыделение из шпуров и скважин;
- 2) внезапное образование пылевого облака;
- 3) аэродинамический, сейсмологический и звуковой эффекты;
- 4) неоднoактный, циклический (пульсационный) характер протекания, многократная смена бурного и относительно спокойного проявления динамических явлений с выбросом угля не только сверху вниз, но и снизу вверх;
- 5) значительное измельчение выброшенной массы, образование больших количеств «бешеной муки»;
- 6) дальний отброс за закругления выработок;
- 7) образование полости выброса.

Особенно хотелось бы обратить внимание на приведенный в данном перечне четвертый признак, отмечаемый и другими специалистами, чрезвычайно важный во многих отношениях, в частности, в сейсмологическом. Аналогичные данные приводят, например, В. И. Николин с соавторами [1967] на основе полученных ими результатов регистрации распространения упругих колебаний в породном массиве в ходе протекания газодинамических (газопородных) выбросов. Согласно их данным, «процесс разрушения породы при выбросе характеризуется бурным взрывоподобным разрушением... Выброс – это серия разрушений, непрерывно следующих одно за другим» [Николин и др., 1967, с. 30 и 32]. Совершенно несомненно, что гигантский по масштабам (в частности, по охваченной им площади на леднике Колка) взрывоподобный газодинамический выброс ледника, безусловно, тем более должен был иметь подобный (а не одномоментный) характер. Характеризуя подземные выбросы породы и газа, В. И. Николин с соавторами [1967, с. 29] отмечают также, что «при выбросе породы имеет место разрушение от отрыва... При таких условиях разрушаются даже весьма пластичные тела». Хорошо известные весьма многочисленные проявления в подземных горных выработках внезапных выбросов солей, во многом сходных со льдом в данном отношении, – вполне очевидное доказательство этого.

Признаки, принципиально сходные с некоторыми из отмеченных выше для газодинамических явлений в подземных горных выработках, проявились, как известно, и при катастрофическом выбросе ледника Колка 2002 г. (Авторы [Забигаило и др., 1980], как и другие исследователи, отмечают и некоторые другие признаки внезапных выбросов в подземных горных выработках, которые, хотя и не указывают однозначно на газодинамическую природу этих явлений, но и не противоречат такому заключению.)

Специальное рассмотрение некоторых общих особенностей и, соответственно, связанных с этим общих вопросов изучения газодинамических и газогляциодинамических явлений предпринято в следующей работе автора.

2. Особенности современного этапа развития газогляциодинамики. Вопросы методологии и гносеологии. Заключительные замечания

Исследование грандиозной природной катастрофы планетарного значения, происшедшей 20 сентября 2002 г. с эпицентром на леднике Колка, позволило установить новый, ранее неизвестный тип крайне редких, совершенно уникальных по своим особенностям, исключительно опасных, катастрофических по их гигантским масштабам и последствиям природных явлений – *пароксизмальные взрывоподобные направленные внезапные газодинамические выбросы ледников*.

Подобные гигантские пароксизмальные катастрофические природные явления на ледниках и в сопредельных с ними зонах, безусловно, происходили на Земле и раньше, но их эндогенная газодинамическая природа, участие и роль в их подготовке и проявлении высоконапорных глубинных природных газов до Колкинской (Кармадонской, Геналдонской) катастрофы 2002 г. оставались неизвестными.

Имеющиеся сведения о таких катастрофах, прежде всего, об особенностях их проявления в эпицентральных зонах, весьма отрывочны либо вообще отсутствуют, в связи с чем реконструкция характера их протекания в этих зонах и, соответственно, установление их действительной природы являются непростым делом и могут быть осуществлены лишь предположительно по косвенным данным.

Сравнение особенностей (признаков) детально изученной Колкинской катастрофы 2002 г. с особенностями ряда других, хотя и менее изученных в их эпицентральных зонах, гигантских пароксизмальных ледниковых катастроф, прежде всего, предыдущих Колкинских, а также Уаскаранских, Араратских, некоторых Девдоракских (Казбекских), катастроф в районе вулкана Рейнир на северо-западе США и других, механизм и причины которых до последнего времени оставались достоверно не установленными, свидетельствует о весьма близкой аналогии между ними и дает основания для предположений об их также эндогенной газодинамической природе и взрывоподобном газодинамическом характере протекания.

Чрезвычайная редкость проявления, уникальность (но, безусловно, неединичность) подобных гигантских по масштабам природных поверхностных эндогенных катастрофических явлений на ледниках вполне естественны и объяснимы: слишком трудно сочетаемыми (но, безусловно, не невозможными) являются основные природные условия, необходимые для их подготовки и реализации.

Выявление, доказательная диагностика и описание такого, нового типа природных явлений, их гигантский катастрофический уровень, вполне соизмеримый по многим основным параметрам с катастрофическим уровнем наиболее крупных природных катаклизмов (в частности, вулканических извержений), исключительная специфичность особенностей протекания, безусловная несводимость природы этих явлений к гляциодинамической (фактическая антиподальность этих явлений по особенностям их проявления, механизму протекания и вызывающим их причинам гляциодинамическим подвижкам), невозможность ни обоснованно предсказать, ни объяснить, ни даже просто описать и адекватно охарактеризовать эти явления на основе имеющихся теоретических концепций в области изучения ледников и связанных с ними опасных природных процессов – важнейшие и достаточные основания для выделения таких явлений в качестве объектов новой области исследований в науках о Земле.

Пароксизмальный взрывоподобный направленный газодинамический выброс ледника Колка 20 сентября 2002 г. (в последних гляциологических публикациях [Котляков и др., 2014 а, б и др.] часто именуемый «подвижкой ледника») и подобные ему катастрофические явления, с учетом всех известных фактов, характеризующих их особенности, не являются релаксационными склоново-гравитационными гляциодинамическими подвижками масс-балансовой природы в общепринятом в гляциологии традиционном понимании, находятся за пределами применимости этих представлений и не могут быть объяснены с этих позиций.

После 20 сентября 2002 г. (даты катастрофы на леднике Колка и в Геналдонском ущелье) были предприняты многочисленные попытки описания, определения и объяснения этой катастрофы в рамках динамической гляциологии, с использованием общеизвестных традиционных гляциологических понятий и представлений и общепринятой гляциологической терминологии (аналогичные попытки многократно предпринимались и в отношении катастрофы на леднике Колка и в Геналдонском ущелье 1902 года, так и не получившей в течение ста лет удовлетворительного объяснения).

Однако, как было отмечено некоторыми гляциологами [Петраков и др., 2004, с. 31], «произошедшая в Осетии ледниковая катастрофа относится к нетипичным явлениям, поэтому общепринятая терминология не подходит для обозначения отдельных объектов и процессов».

Дело, однако, естественно, не просто в терминологии, а в сущности этих «объектов и процессов»: невозможность описания явлений с помощью гляциологической терминологии вполне естественна и является отражением, вполне очевидным показателем того, что эти явления, хотя они и произошли на леднике, – не гляциологические, а иные по своей природе и характеру (геодинамическому типу). И хотя Д. А. Петраков [2008], как и другие отечественные гляциологи, еще недавно придерживался представлений о гляциальном генезисе Колкинской и подобных ей катастроф, другие гляциологи [Котляков и др., 2014 а, с. 232; 2014 б, с. 104] в последнее время склоняются к мнению о негляциальной природе Колкинской (Кармадонской) катастрофы 2002 г.

Уточняя и дополняя приведенное выше высказывание Д. А. Петракова и др., необходимо заметить, что для обозначения катастрофы на леднике Колка, а также связанных с ней объектов и процессов не подходит общепринятая именно *гляциологическая* терминология. Гляциологическая терминология, действительно, не подходит ни для описания, ни для определения («обозначения»), ни для объяснения этой катастрофы. Совершенно не подходят и приводимые во многих публикациях гляциологические примеры аналогов этой катастрофы (различные ледниковые подвижки, обвалы, сели и пр.). И это – совершенно естественно, поскольку катастрофа на леднике Колка – явление не гляциологическое, не гляциодинамическое, а газодинамическое или, с учетом участия в нем ледника, – газогляциодинамическое.

Сущность и исключительно большая специфичность данного природного явления, его грандиозные масштабы и пароксизмальный катастрофический характер и, как можно с достаточным основанием полагать, неединичность проявления в природе подобных и связанных с ними (обусловленных ими) явлений определяют большое научное и прикладное значение их изучения и являются основанием для зарождения и развития новой важной области исследований в науках о Земле, названной автором *газогляциодинамикой*.

Повторим: происшедшая 20 сентября 2002 года гигантская природная катастрофа с эпицентром на леднике Колка, как было показано автором еще около десяти лет назад, представляла собой огромный по силе (энергии, мощности) *внезапный взрывоподобный направленный газодинамический выброс ледника*.

Кроме газодинамических выбросов, взрывных (взрывных) вулканических извержений и метеоритных взрывов, нет никаких других природных явлений, которые характеризовались бы особенностями (признаками), подобными особенностям Колкинской катастрофы, проявившимся в ее эпицентральной области. Однако для предположений о вулканическом извержении или метеоритном взрыве в цирке ледника Колка нет никаких оснований: эти явления характеризуются многими другими важнейшими для их диагностики весьма существенными признаками, не присущими Колкинской катастрофе. Зато абсолютно все сколько-нибудь существенные достоверно установленные признаки этой катастрофы в ее эпицентральной области и характерные признаки внезапных газодинамических (газопородных) выбросов полностью совпадают.

В этой связи автор уже отмечал [Бергер, 2006 а, 2015 б и др.], что, в силу ее совершенно не гляциальной природы (это в 2014 г, наконец-то, признали и сами гляциологи [Котляков и др., 2014 а, б]), Колкинская катастрофа 2002 г. (ее геодинамический тип, механизм протекания и, соответственно, генезис) и подобные ей явления гляциологам неизвестны, непонятны и несмотря на весь имеющийся у гляциологов многодесятилетний опыт изучения ледников (на который некоторые из них не к месту зачем-то постоянно ссылаются), понимание этих явлений гляциологам (судя по их публикациям [там же и др.]), увы, совершенно недоступно.

Около десяти лет назад автор писал, что после Колкинской катастрофы были высказаны многочисленные версии о ее характере и причинах. Многие из них (обвально-ударного выбивания ледника, гляциодинамической подвижки, селя и пр.) находятся, однако, в противоречии с известными фактами и опровергаются новыми данными [Тутубалина и др., 2005 и др.]. Самое же главное состоит в том, что ни одна из предложенных версий, за исключением представлений о газодинамическом выбросе ледника, не позволяет объяснить ни одну из особенностей этой катастрофы. Представления же автора по данной проблеме позволяют не только установить газодинамическую природу основного события, происшедшего 20 сентября 2002 г. на леднике Колка и поразившего огромную территорию за его пределами, и на этой основе совершенно естественным образом легко объяснить все до единой особенности этой катастрофы, но и выявить остававшуюся до сих пор неустановленной и непонятной глубокую закономерную генетическую связь различных природных процессов, столь явно и мощно проявившихся в районе ледника Колка примерно с июля 2002 г. по сентябрь 2003 г. (и даже позднее) – их типов, последовательности, интенсивности (и ее эволюции), времени и места проявления, связанных (при всем различии их роли) участием в проявившемся в данном районе едином грандиозном катастрофическом процессе подготовки, проявления и последующего постпароксизмального завершения внезапного газодинамического выброса ледника Колка. Таким же положение в данной области остается в настоящее время и, вне всяких сомнений, останется и в дальнейшем.

Теперь уже ясно, что любые факты, которые могут быть установлены при исследовании пароксизмальной катастрофической пульсации ледника Колка 2002 г., вполне смогут найти место и получить объяснение в рамках газодинамической те-

ории этой катастрофы, в основе которой лежат представления о взрывном (взрывоподобном) механизме этой катастрофы и ее эндогенной газодинамической природе.

* * *

В пору расцвета науки в последней трети XX в., когда достаточно явно проявились и многочисленные негативные моменты в ее развитии, М. Малкей [1983, с. 37–44] напомнил о существовании стандартной концепции науки – совокупности гносеологических, эпистемологических и методологических воззрений, касающихся природы и строения научного знания, путей и способов его получения и обоснования, проверки и оценки полученных результатов, содержания, сущности, целей и идеалов научной деятельности, а также регулирующих ее норм и механизмов, и отметил, что естествоиспытатели лицом к лицу столкнулись с проблемами гносеологии, эпистемологии и методологии науки. Все эти и некоторые другие моменты, отчасти отмеченные М. Малкеем [1983], достаточно актуальны для современного состояния исследований по Колкинской проблеме и многочисленным другим проблемам газогляциодинамики (в том числе исключительно важным общим проблемам оценки и прогнозирования газовыбросоопасности ледников, изучения механического действия взрывоподобных газодинамических выбросов ледников, их сейсмического сопровождения, процессов ударноволнового воздействия на окружающую среду, характера катастрофических дисперсных потоков, генетического типа и фаций отложений и мн. др.).

При создании газогляциодинамики и разработке ее проблем приходится буквально продираться сквозь дебри непонимания, незнания и игнорирования фактов, их искажения, вольных и невольных заблуждений, необоснованных и ошибочных утверждений, артефактов, нарушений логики и т.п. На многие из этих моментов автор неоднократно обращал внимание в своих публикациях.

При всем разнообразии высказанных по данной проблеме представлений, предложенная и обоснованная автором еще в 2003–2004 гг. газодинамическая идентификация характера и причин гигантской природной катастрофы 2002 г. на леднике Колка и в Геналдонском ущелье и основанные на ней газодинамические теоретические представления об этой катастрофе и подобных ей катастрофических природных явлениях были и остаются единственной доказанной теорией, учитывающей все весьма многочисленные известные факты в этой области, опирающейся на них и легко их объясняющей. Собственно говоря, представления о газодинамической природе Колкинской катастрофы просто естественным образом совершенно однозначно следуют из этих фактов.

Появление в последующие годы новых фактических данных, прежде всего, документальных данных о состоянии ледника Колка и прилежащих склонов г. Джимарайхох и ее отрогов за восемь с половиной часов до катастрофы [Тутубалина и др., 2005], дало дополнительные основания для подтверждения справедливости газодинамических представлений и опровергло другие гипотезы и версии, получившие распространение в данной области, в том числе наиболее распространенные из них – обвално-ударные (выбивания ледника обвальным ударом) и водно-гляциальные (гляциодинамической подвижки) в любой их модификации.

В силу достаточной известности многих фактов, характеризующих природные явления, происшедшие около 20 часов 20 сентября 2002 г. на леднике Колка и в Геналдонском ущелье, а также предшествовавшие катастрофе и последовавшие за

ней, определение геодинамического типа этой катастрофы представляет собой обратную геолого-геофизическую задачу. Эти явления, однако, в свою очередь, требуют непредвзятой, правильной и доказательной генетической расшифровки на основе характеризующих их фактов. Для такой расшифровки в данном случае иногда требуются знания, выходящие далеко за рамки классической географии и традиционной геологии. Но иного пути для понимания катастрофы на леднике Колка и в Геналдонском ущелье, реконструкции характера ее протекания (включая ее подготовительную и заключительную стадии) и определения вызвавших ее причин не существует.

Сказанное в полной мере относится к выявлению, генетической расшифровке и изучению и других пароксизмальных ледниковых катастроф.

Игнорирование эндогенной газодинамической природы грандиозной катастрофы на леднике Колка и в Геналдонском ущелье 20 сентября 2002 г. чревато новыми трагическими последствиями в случае весьма вероятного повторения подобных катастроф.

В этом плане обращает на себя внимание, в частности, что некоторые авторы при прогнозе дальнейшего развития событий в данном районе исходят из предполагаемого ими времени набора ледником некой критической массы. Однако для катастрофического газодинамического выброса ледника никакой сколько-нибудь определенной по величине критической массы не требуется. *Газодинамический выброс при условии способности выполнения ледником газозащитной функции* (и, разумеется, наличия источника поступления достаточного количества высоконапорных природных газов, как в случае подледникового пространства ледника Колка) *может произойти при любой массе ледника*. И это, естественно, следует учитывать в прогнозных заключениях.

С другой стороны, любая набранная ледником масса еще не является основанием для мнения о приближении катастрофического пароксизмального выброса ледника, ибо для такого развития событий требуются совершенно другие условия – не гляциодинамические (и, конечно, не водно-гляциальные), а, обобщенно говоря, газодинамические, не имеющие непосредственной (тем более, взаимнооднозначной) связи с величиной набранной ледником массы.

К сказанному можно добавить, что интенсивно происходящая в последние десятилетия деградация горного оледенения не ведет к обязательному проявлению подобных катастрофических природных процессов, связанных с ледниками (проводимые иногда связи между глобальным потеплением и пароксизмальными ледниковыми катастрофами, в частности, Колкинской катастрофой 2002 г., как и между гидрометеорологическими условиями и Колкинской катастрофой 1902 г., лишены каких-либо оснований), но, в принципе, и не исключает их проявление, поскольку эти ледниковые катастрофы обусловлены действием не экзогенных, поверхностных, а эндогенных, глубинных природных факторов.

* * *

Характеризуя детально и глубоко изученные (в том числе с использованием высокоскоростной киносъемки и других методов) весьма многочисленные внезапные выбросы угля и газа, А.Э. Петросян, Б.М. Иванов и В.Г. Крупеня [1983, с. 107] отмечают, в частности, что «движение выброшенной массы происходит в виде высококонцентрированных дисперсных потоков в режимах флюидного потока или по-

тока в плотной фазе». При этом, согласно данному ими определению, «флюидный поток характерен движением не отдельных частиц, а общим течением всей массы» [Петросян и др., 1983, с. 69]. Внезапные газодинамические (газопородные) выбросы происходят, в основном, именно в виде (в режиме) флюидного потока, который способен переносить на значительные расстояния крупные куски породы, обтекать препятствия, распространяться по криволинейным каналам [Петросян и др., 1983, с. 71–72].

В полном соответствии с этими и другими данными и определениями, автор [Бергер, 2006 а, с. 49], характеризуя движение выброшенной 20 сентября 2002 г. ледово-каменной массы до Кармадонских ворот, на основании имеющихся фактических материалов [Панов и др., 2002; Осокин, 2002; Поповнин и др., 2003; Черноморец, 2005; и др.], определил его как вихреобразный флюидный дисперсный поток взвешенных в газовой среде продуктов газодинамического разрушения и выброса ледника Колка вместе с находившимся на леднике материалом обвалов с г. Джимарайхох и ее отрогов и материалом, захваченным этим потоком в процессе его движения.

Правда, гляциологи [Котляков и др., 2008, с. 206] подвергают это определение сомнению, полагая, что «огромная эродирующая сила» двигавшейся массы, «оставившей после себя долину, выпаханную массой льда, воды и камней, с резкой верхней границей на склонах», «вряд ли могли быть результатом» описанного автором потока. По их мнению [Котляков и др., 2008, с. 195 и 198], это был катастрофический ледово-каменный (высокоскоростной ледово-водно-каменный) сель. Но сели не имеют скоростей, существенно (да еще и на многокилометровом участке пути) превышающих 100 км/час, и не производят эродирующее воздействие огромной силы «с резкой верхней границей на склонах» на высоте в сотни метров над дном долины (да еще и при крайней незначительности и даже отсутствии эродирующего воздействия на само дно на многокилометровом участке пути – в зоне транзита). Так что высказанное гляциологами сомнение и принимаемое ими определение характера (геодинамического типа) и природы катастрофического Геналдонского потока (до Кармадонских ворот) лишены оснований. Некоторые важные параметры катастрофического Геналдонского потока 2002 г. в зоне его транзита, также опровергающие представления гляциологов и других географов о его селевом характере, приведены в работах В.Б. Заалишвили с соавторами [Заалишвили, Мельков, 2012; Заалишвили и др., 2014 и др.].

В плане характеристики особенностей движения этого потока заметим также, что, в силу существования значительных градиентов скорости движения частиц в потоке при приближении к бортам ущелья, еще при обычной быстрой подвижке ледника Колка 1969–1970 гг. К.П. Рототаевым [1974, с. 112] был отмечен «вращательный эффект перемещения блоков менее активного льда в прибортовых контактных зонах», ни в малейшей мере не указывающий на «роторное», вращательное и т. п. движение всего ледово-каменного потока (всей перемещаемой потоком массы вещества) и, разумеется, не свидетельствующий об «ударно-вращательном» обвальном воздействии на ледник при его выбросе. Это – обычные образования в краевых частях турбулентного потока, в зонах его соприкосновения со стенками канала, обусловленные увеличением сил локального сопротивления.

Как писал автор еще в 2005 г., катастрофическое событие, происшедшее 20 сентября 2002 г. на леднике Колка и в Геналдонском ущелье, в генетическом отноше-

нии и по характеру протекания не имеет ничего общего с ледниковыми подвижками и селями (хотя оно и породило гигантский сель уже за Кармадонскими воротами, т. е. примерно в двадцати километрах от эпицентра катастрофы, находившегося в тыльной части ледника Колка) и хотя эпицентр этого события и находился на леднике, оно является по своей природе не гляциодинамическим, а газодинамическим. Сейчас, спустя еще десять лет, можно только повторить это высказывание. Специальное рассмотрение некоторых вопросов данного круга проведено в работах [Бергер, 2015 а, б].

* * *

Несмотря на почти двухсотлетнюю историю изучения внезапных газодинамических выбросов и появление отдельных глубоких работ по данной проблеме, современное состояние этой области далеко от благополучного.

Одними из основных причин этого являются нерешенность вопроса об источниках основного количества газов, участвующих в этих выбросах, и неправомерно широкое распространение представлений, связывающих проявление внезапных газодинамических выбросов с действием десорбируемого газа и другими установленными или предполагаемыми формами связанного газа, как считается, высвобождающегося в ходе выбросов.

Излишне говорить о неприменимости подобных представлений к объяснению причин и механизма весьма многочисленных газосоляных, а также газопесчаных и некоторых других газопородных выбросов.

Неприменимы подобные представления и к объяснению причин и механизма газодинамического выброса ледника Колка и других газогляциодинамических событий.

Основной источник высоконапорных газов, вызвавших взрывоподобный направленный газодинамический выброс ледника Колка 20 сентября 2002 г., очевиден – им были глубинные поствулканические газы, постоянно генерирующиеся, выделяющиеся и концентрирующиеся в глубинных зонах Казбекско-Джимарайского района и всей Казбекской неовулканической области, пульсационно продвигающиеся (мигрирующие) вверх, в зону пониженного давления, и накапливающиеся непосредственно под ледником.

Существующие в горной геомеханике (особенно – отечественной) представления о причинах (действующих факторах), вызывающих внезапные газодинамические выбросы, все еще предположительны и неоднозначны. Одна из причин такого положения состоит в трудности постановки модельных экспериментов, которые позволили бы осуществить проверку различных представлений в этой области.

Вместе с тем, природа наглядно продемонстрировала недавно спонтанный (самопроизвольный) взрывоподобный направленный поверхностный внезапный газодинамический (газопородный) выброс огромной силы, не оставляющий никаких сомнений в характере вызвавших его причин. Основными результатами этого выброса были практически полная газодинамическая аннигиляция ледника Колка, освобождение занятой этим ледником полости, чрезвычайно высокоскоростной, почти мгновенный переброс огромной массы ледово-каменного материала из Колкинского цирка в Кармадонскую котловину и образование в этой котловине гигантского ледово-каменного навала (завала).

Происшедший 20 сентября 2002 г. внезапный газодинамический выброс ледника Колка со всей очевидностью показал, что именно *аномально высокое (сверх-*

высокое) давление свободных газов, скопившихся за локальным непроницаемым (газоупорным) барьером (ледником Колка), превышение газовым давлением величины создаваемого этим барьером геостатического давления, предела прочности газоупорного барьера на разрыв и сил его сцепления с вмещающими породами, а не «разрушающее» горное давление, не сорбированный газ и другие формы его связанного состояния и не десорбция и другие механизмы высвобождения связанного газа при разрушении пород горным давлением и в результате ведения горных работ (как нередко полагают в горной геомеханике) и, конечно, не вода в любом ее количестве (как обычно утверждают отечественные специалисты по динамической гляциологии) является основной причиной, главным действующим (вызывающим) фактором, важнейшим необходимым и достаточным условием проявления внезапных газодинамических выбросов, определяющим и полностью объясняющим все весьма специфические характерные особенности подготовки, протекания и завершения этих природных и природно-техногенных (при их техногенном инициировании) явлений.

При всем исходном генетическом различии между ними, газодинамические и газогляциодинамические явления принципиально сходны в геомеханическом отношении (в механизме их протекания) и, соответственно, должны рассматриваться в качестве геодинамических явлений-аналогов.

В наиболее явном виде проявившееся при поверхностном газоледокаменном выбросе ледника Колка это заключение в полной мере справедливо как для поверхностных, так и для подземных внезапных газодинамических выбросов, как для газоледокаменных, так и для газоугольных, газосоляных, газопесчаных и любых иных газопородных выбросов, независимо от литологического типа (состава, структуры) и генезиса выбрасываемых пород и независимо от состава выбрасывающих расширяющихся сжатых природных газов (который может быть весьма различным), их физико-химических свойств и происхождения. Некоторая генетическая специфика установленных автором различных типов таких выбросов рассмотрена ранее [Бергер, 2008, с. 134–136]. Там же показана генетическая специфика, присущая именно газогляциодинамическим явлениям – внезапным газодинамическим выбросам ледников.

С учетом неоднократной повторяемости гигантских по масштабам пароксизмальных взрывоподобных ледниковых катастроф и их проявления не только в данном, но и других районах Земли, значимость газогляциодинамических исследований неизмеримо возрастает, ставя пока только нарождающуюся газогляциодинамику в один ряд с такими имеющими огромное научное и прикладное значение областями исследования эндогенных опасных природных процессов, в том числе катастрофического уровня, как вулканология и сейсмология.

Как в какой-то мере показано в этой и предшествующих работах автора по данной проблеме, проявляющиеся на земной поверхности неоднократные пароксизмальные катастрофические пульсации (взрывоподобные внезапные направленные газодинамические выбросы) ледника Колка и, вполне вероятно, некоторых других горных ледников вызываются *глубинными* эндогенными геологическими (газогеодинамическими, газовыми поствулканическими или, более широко, постмагматическими) процессами, протекающими в земной коре, в основном, на значительной глубине и, в силу этого, а также в силу геотермодинамических условий их протекания, недоступными для непосредственного наблюдения.

В этом отношении пароксизмальные катастрофические взрывоподобные газодинамические пульсации (направленные выбросы) ледника Колка (и, вполне вероятно, некоторых других горных ледников) принципиально близки к также нередко катастрофическим по своим масштабам и последствиям поверхностным проявлениям других эндогенных геологических процессов с глубинным расположением очага, в частности, к проявляющимся на земной поверхности вулканическим извержениям (в том числе взрывным или эксплозивным) и тектоническим землетрясениям (причем, как и пароксизмальные катастрофические газодинамические пульсации ледников, и те, и другие, как известно, обычно вызывают вторичные поверхностные катастрофические явления различного типа).

В силу глубинного эндогенного характера вызывающих причин, исключительно большой силы (мощности) и гигантских масштабов отмеченных первичных эндогенных явлений и вызываемых ими последствий их предотвращение является в настоящее время невозможным. Зачастую пока малоуспешным является и прогнозирование этих явлений.

Однако научные исследования в этих направлениях ведутся. Все более значительными и совершенными становятся и технические возможности. Все большими становятся необходимость противодействия стихийным опасностям и катастрофам и понимание такой необходимости. Это вселяет надежду на то, что проблема предотвращения катастрофических пульсаций ледника Колка, исключения самой возможности их повторения со временем будет решена.

* * *

Вышеизложенное позволяет лишь отчасти очертить круг вопросов, с которыми неизбежно соприкасается теория развития динамически неустойчивых ледников в той ее части, в которой она затрагивает выбросоопасные ледники и проявляющиеся в ходе их развития грандиозные пароксизмальные ледниковые катастрофы – взрывоподобные направленные газодинамические выбросы ледников, наиболее достоверно установленным и наиболее изученным (но, безусловно, далеко не единственным) из которых является газодинамический выброс ледника Колка 20 сентября 2002 г. Многие из этих вопросов, как видим, далеко выходят за рамки традиционной динамической гляциологии и, в целом, классической географии. (Впрочем, как было показано [Бергер, 2011 а, б], возможная существенная роль эндогенных флюидодинамических факторов должна учитываться и в собственно динамической гляциологии – при изучении традиционно считающихся экзогенными, как правило, чисто гляциальными, классических быстрых подвижек ледников. Вполне показательно в этом плане, что и такие, значительно более распространенные, как обычно считается, собственно гляциодинамические пульсации характерны для ледников флюидогеодинически активных областей, отличающихся, по определению Г. Ю. Валукониса и А. Е. Ходькова [1973, с. 272], очаговой, направленной вертикально вверх разгрузкой подземных вод и газов, в том числе для того же ледника Колка и сопредельной с ним области.)

В приложении к ледникам все эти вопросы (и многие другие, непосредственно связанные с ними, но не затронутые в данной статье) в своей совокупности составляют предмет газогляциодинамики – новой области исследований эндогенных опасных природных процессов катастрофического уровня.

Разумеется, гигантские по масштабам пароксизмальные катастрофические взрывоподобные направленные газодинамические выбросы ледников, подобные внезапному газодинамическому выбросу ледника Колка 2002 г., происходят на Земле в современную эпоху сравнительно редко. Могут пройти многие десятилетия, в течение которых ни одно такое событие нигде на земном шаре не произойдет. Но ведь и пароксизмальные катастрофические вулканические извержения (направленные вулканические взрывы) гигантского масштаба типа извержений вулканов Безымянный (Камчатка, 1956 г.) и Сент-Хеленс (США, штат Вашингтон, 1980 г.) происходят на Земле далеко не каждое десятилетие. Но они могут произойти и люди всегда должны быть готовы к этому.

Установление эндогенной газодинамической природы Колкинской катастрофы и неоднократно происходивших на Земле принципиально аналогичных гигантских по масштабам пароксизмальных ледниковых катастроф, выявление их сущности, механизма протекания и причин имеет фундаментальное научное и практическое значение. Оно закладывает фактологическую (эмпирическую), теоретическую и прикладную основу *газогляциодинамики* – новой области исследований ледников, а также включающих их сложных полиэлементных и гетерофазных литосферных геодинамических систем и связанных с ними эндогенных опасных природных процессов катастрофического уровня и позволяет подойти к прогнозированию, а в будущем, возможно, и регулированию катастрофических газогляциодинамических явлений, всегда приводивших до сих пор к многочисленным человеческим жертвам и разрушениям, но остававшихся до самого последнего времени нераспознанными, недиагностированными и, в своей сущности, неизученными.

Литература

1. Адушкин В. В., Гостинцев Ю. А., Фирстов П. П. О природе воздушных волн при сильных эксплозивных извержениях // Вулканология и сейсмология. 1984. № 5. С. 3–11.
2. 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.
3. 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: Изд-во Олимп, 2006 а. С. 41–49.
4. Бергер М. Г. Газодинамический выброс ледника Колка 20 сентября 2002 г. // Вестник Владикавказского научного центра РАН и РСО-А. 2006 б. Т. 6. № 2. С. 33–37.
5. Бергер М. Г. О методике, результатах и перспективах исследований катастрофы на леднике Колка // Труды Северо-Кавказского горно-металлургического института (государственного технологического университета). Юбилейный выпуск. Владикавказ: Терек, 2006 в. С. 257–259.
6. Бергер М. Г. Газогляциодинамические явления – новый тип катастрофических природных явлений // Труды Северо-Кавказского горно-металлургического института (государственного технологического университета). Юбилейный выпуск. Владикавказ: Терек, 2006 г. С. 260–266.

7. Бергер М. Г. Ледник Колка: Катастрофа 20 сентября 2002 года – внезапный газодинамический выброс ледника. М.: Изд-во ЛКИ, 2007 а. 248 с.
8. Бергер М. Г. Три гляциодинамические подвижки и четыре газодинамических выброса ледника Колка. Малоизвестные страницы и дискуссионные вопросы истории развития пульсирующего ледника. М.: КомКнига, 2007 б. 120 с.
9. Бергер М. Г. Геодинамическая система ледника Колка и вопросы прогнозирования и регулирования ее развития. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. 264 с.
10. Бергер М. Г. О возможных эндогенных причинах быстрых подвижек ледников. Статья первая // Геология и геофизика Юга России. 2011 а. № 1. С. 38–47.
11. Бергер М. Г. О возможных эндогенных причинах быстрых подвижек ледников. Статья вторая // Геология и геофизика Юга России. 2011 б. № 2. С. 3–13.
12. Бергер М. Г. О некоторых расчетах количества поствулканических газов, необходимого для газодинамического выброса ледника Колка // Геология и геофизика Юга России. 2012 а. № 1. С. 75–87.
13. Бергер М. Г. О воронке выброса ледника Колка // Геология и геофизика Юга России. 2012 б. № 2. С. 55–64.
14. Бергер М. Г. О причинах интенсификации обвалов на ледник Колка перед его катастрофическим выбросом 20 сентября 2002 года и некоторых количественных оценках величины этих обвалов // Геология и геофизика Юга России. 2012 в. № 3. С. 65–90.
15. Бергер М. Г. О некоторых следах, оставшихся на месте ледника Колка, как показателей характера Колкинской катастрофы 2002 года // Геология и геофизика Юга России. 2012 г. № 4. С. 75–85.
16. Бергер М. Г. О проявлении ударной воздушной волны при взрывоподобном внезапном газодинамическом выбросе ледника Колка 20 сентября 2002 года // Геология и геофизика Юга России. 2015 а. № 2. С. 76–85.
17. 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 б. № 3.
18. Валуколис Г. Ю., Ходьков А. Е. Геологические закономерности движения подземных вод, нефтей и газов. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1973. 304 с.
19. Гордеев Е. И. О возможном механизме низкочастотного вулканического дрожания // Вулканология и сейсмология. 1985. № 3. С. 68–77.
20. Горельчик В. И., Зобин В. М., Токарев П. И. Сейсмичность вулканов // Вулканология и сейсмология. 1987. № 6. С. 61–77.
21. Заалишвили В. Б., Невская Н. И., Харебов А. К. Анализ инструментальных записей схода ледника Колка по данным локальной сети сейсмических наблюдений // Вестник Владикавказского научного центра РАН и РСО-А. 2004. Т. 4. № 3. С. 58–64.
22. Заалишвили В. Б., Невская Н. И., Макиев В. Д., Мельков Д. А. Интерпретация инструментальных данных процесса схода ледника Колка 20 сентября 2002 года // Вестник Владикавказского научного центра РАН и РСО-А. 2005 а. Т. 5. № 3. С. 43–54.
23. Заалишвили В. Б., Невская Н. И., Мельков Д. А. К вопросу интерпретации инструментальных данных процессов схода ледника Колка 20 сентября 2002 года: Докл. [6 Российская национальная конференция по сейсмостойкому строительству и сейсмическому районированию (с международным участием). Сочи, 19–24 сент.

2005. Вып. 3] // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2005 б. № 6. С. 13–17.

24. Заалишвили В. Б., Невская Н. И., Макиев В. Д., Мельков Д. А. Особенности процесса схода ледника Колка 20 сентября 2002 года по инструментальным данным // Геофизика XXI столетия: 2006 год. Сборник трудов Восьмых геофизических чтений им. В. В. Федынского (2–4 марта 2006 г., Москва). Тверь: ООО «Издательство ГЕРС», 2007. С. 191–199.

25. Заалишвили В. Б., Мельков Д. А. Особенности движения ледово-каменной массы 20 сентября 2002 г. по сейсмологическим и геоморфологическим данным // Опасные природные и техногенные геологические процессы на горных и предгорных территориях Северного Кавказа: Труды Международной научно-практической конференции. Владикавказ, 20–22 сентября 2007 г. Владикавказ: ВНЦ РАН и РСО-А, 2008 а. С. 185–195.

26. Заалишвили В. Б., Мельков Д. А. Оценка интенсивности сейсмического события, вызванного сходом ледника Колка 20 сентября 2002 года // Опасные природные и техногенные геологические процессы на горных и предгорных территориях Северного Кавказа: Труды Международной научно-практической конференции. Владикавказ, 20–22 сентября 2007 г. Владикавказ: ВНЦ РАН и РСО-А, 2008 б. С. 196–201.

27. Заалишвили В. Б., Харебов К. С. Исследование процесса схода ледника Колка 20 сентября 2002 года по динамическим характеристикам инструментальных записей // Опасные природные и техногенные геологические процессы на горных и предгорных территориях Северного Кавказа: Труды Международной научно-практической конференции. Владикавказ, 20–22 сентября 2007 г. Владикавказ: ВНЦ РАН и РСО-А, 2008. С. 202–221.

28. Заалишвили В. Б., Мельков Д. А. Особенности процесса схода ледника Колка 20 сентября 2002 г. и его макросейсмическое проявление по инструментальным данным современных регистрационных систем // Геология и геофизика Юга России. 2012. № 3. С. 29–44.

29. Заалишвили В. Б., Мельков Д. А., Суаридзе Г. С. К вопросу создания математической модели процесса схода ледника Колка 20 сентября 2002 г. // Ледник Колка: вчера, сегодня, завтра / [отв. ред. акад. Ю. Г. Леонов, В. Б. Заалишвили]; Центр геофиз. исслед. Владикавказ. науч. центра РАН и РСО-А. – Владикавказ, 2014. С. 181–184.

30. Забигаило В. Е., Широков А. З., Кратенко Л. Я., Лукинов В. В., Стовас Г. М. Геологические условия выбросоопасности угольных пластов Донбасса. Киев: Наукова думка, 1980. 192 с.

31. Иванов Б. М. Современные представления о классификации газодинамических явлений в угольных шахтах // Горный информационно-аналитический бюллетень. Тематическое приложение «Безопасность». М.: Изд-во МГГУ, 2005. С. 153–167.

32. Котляков В. М. Главные задачи терминологической работы в области гляциологии // Материалы гляциологических исследований. Хроника, обсуждения. Вып. 35. М., 1979. С. 179–184.

33. Котляков В. М., Асоян Д. С., Кононова Н. К., Осокин Н. И., Рототаева О. В. Особенности катастрофических природных процессов на Северном Кавказе на рубеже XX – XXI вв. // Изменение окружающей среды и климата. Природные

и связанные с ними техногенные катастрофы. В 8 томах. Том III. Опасные природные явления на поверхности суши: механизм и катастрофические следствия. М.: ИГ РАН, ИФЗ РАН, 2008. С. 190–209.

34. Котляков В. М., Рототаева О. В., Носенко Г. А., Осокин Н. И., Чернов Р. А. Известные подвижки ледников на Северном Кавказе // Ледник Колка: вчера, сегодня, завтра / [отв. ред. акад. Ю. Г. Леонов, В. Б. Заалишвили]; Центр геофиз. исслед. Владикавказ. науч. центра РАН и РСО-А. – Владикавказ, 2014 а. С. 213–233.

35. 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», 2014 б. 184 с.

36. Макдоналд Г. Вулканы. М.: Мир, 1975. 432 с.

37. Малкей М. Наука и социология знания. М.: Прогресс, 1983. 254 с.

38. Наливкин Д. В. Ураганы, бури и смерчи. Географические особенности и геологическая деятельность. Л.: Наука, 1969. 487 с.

39. Никитин М. Ю., Гончаренко О. А., Галушкин И. В. Динамика и стадийность развития Геналдонского ледово-каменного потока на основе дистанционного анализа // Вестник Владикавказского научного центра РАН и РСО-А. 2007. Т. 7. № 3. С. 2–15.

40. Николин В. И., Меликсетов С. С., Беркович И. М. Выбросы породы и газа. М.: Недра, 1967. 81 с.

41. Осокин Н. И. Ледниковая катастрофа в Осетии // География. 2002. № 43 (674). С. 3–7.

42. Панов В. Д., Ильичев Ю. Г., Лурье П. М. Ледниковый обвал в горах Северной Осетии в 2002 г. // Метеорология и гидрология. 2002. № 12. С. 94–98.

43. Петраков Д. А. Многостадийные ледниковые катастрофы как особый тип стихийно-разрушительных процессов гляциального генезиса // Материалы гляциологических исследований. 2008. Вып. 105. С. 87–96.

44. Петраков Д. А., Тутубалина О. В., Черноморец С. С. По следам Геналдонской катастрофы: год спустя // Криосфера Земли. 2004. Т. VIII. № 1. С. 29–39.

45. Петросян А. Э., Иванов Б. М., Крупеня В. Г. Теория внезапных выбросов. М.: Наука, 1983. 152 с.

46. Поповнин В. В., Петраков Д. А., Тутубалина О. В., Черноморец С. С. Гляциальная катастрофа 2002 года в Северной Осетии // Криосфера Земли. 2003. Т. VII. № 1. С. 3–17.

47. Ромашов А. Н., Симонов Н. Н. О механизме образования и о подобии видимых воронок при взрывах на выброс в грунтах // Взрывное дело. Сборник № 64/21. Сейсмика и воронки выброса при подземных взрывах. М.: Недра, 1968. С. 42–57.

48. Рототаев К. П. Ледник Колка – факты и выводы // Материалы гляциологических исследований. Хроника, обсуждения. 1974. Вып. 24. С. 109–116.

49. Рототаев К. П., Ходаков В. Г., Кренке А. Н. Исследование пульсирующего ледника Колка. М.: Наука, 1983. 169 с.

50. Токарев П. И. Извержения и сейсмический режим вулканов Ключевской группы (1949–1963 гг.). М.: Наука, 1966. 118 с.

51. Токарев П. И. Вулканические землетрясения Камчатки. М.: Наука, 1981 а. 164 с.

52. Токарев П. И. Вулканическое дрожание // Вулканология и сейсмология. 1981 б. № 3. С. 55–72.

53. Тутубалина О. В., Черноморец С. С., Петраков Д. А. Ледник Колка перед катастрофой 2002 года: новые данные // Криосфера Земли. 2005. Т. IX. № 4. С. 62–71.
54. Ходаков В. Г. Особенности формирования баланса льда пульсирующего ледника Колка // Материалы гляциологических исследований. Хроника, обсуждения. 1974. Вып. 24. С. 116–125.
55. Черноморец С. С. Селевые очаги до и после катастроф. М.: Научный мир, 2005. 184 с.
56. Щерба В. Я. Борьба с газодинамическими явлениями в калийных рудниках стран СНГ // Динамические и газодинамические явления в калийных рудниках: Сб. статей Горного информационно-аналитического бюллетеня. 2004. № 5. М.: Изд-во МГГУ, 2004. С. 3–8.
57. Щерба В. Я., Башура А. Н., Андрейко С. С. Управление газодинамическими процессами на Старобинском месторождении калийных солей. М.: Изд-во МГГУ, 2004. 194 с.
58. McNutt S.R. Volcanic seismology // Annual Review of Earth and Planetary Sciences. 2005. P. 461–491.

GAS GLACIODYNAMICS AS A NEW FIELD OF INVESTIGATIONS OF GLACIERS AND RELATED TO THEM HAZARDOUS ENDOGENOUS NATURAL PROCESSES OF CATASTROPHIC LEVELS

© 2015 M. G. Berger, Sc.Doctor (Geol.-Min.), prof.

North-Caucasian innovation center «Sustainable development of mountain territories», 362021, Russia, RNO-Alania, Vladikavkaz, Nikolaev str., 44,
e-mail: conf@skgmi-gtu.ru;
GPI VSC RAS, Russia, 362002, Vladikavkaz, Markov str., 93 a,
e-mail: berger7@rambler.ru

Foundations for gas glaciodynamics definition as a new field of investigations in the Earth sciences are given in the article. Gas glaciodynamics objects are defined. The main tasks of gas glaciodynamics investigations are formulated. The place of gas glaciodynamics among the Earth sciences, its links and relations with allied sciences are proved. The article also considers the questions of this field formation. The features of the modern stage of gas glaciodynamics development are characterized.

Key words: gas glaciodynamics, hazardous endogenous natural processes, glacial catastrophes, sudden gas-dynamic surges, Kolka glacier, Kolka (Genaldon, Karmadon) catastrophe of 2002, sudden air-blast directional surge of the glacier.

УДК 61476

СОСТОЯНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ И ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ НАСЕЛЕНИЯ ГОРОДА ВЛАДИКАВКАЗА

© 2015 О. Г. Бериев, д.м.н., проф., В. Б. Заалишвили, д.ф.-м.н., проф.

Геофизический институт Владикавказского научного центра РАН, Россия,
362002, г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а, e-mail: cgi_ras@mail.ru.

В статье исследовано состояние загрязнения атмосферы и заболеваемости населения на территории г. Владикавказ за пятилетний период. Установлена тенденция к снижению выбросов в окружающую среду главным образом за счет снижения объемов производств и выполнения природоохранных мероприятий на промышленных предприятиях города. Вместе с тем, отмечается рост количества автотранспорта и его техногенная нагрузка на среду неуклонно увеличивается.

Ключевые слова: заболеваемость, население, урбанизированная территория, экология, атмосфера

Владикавказ – крупный промышленный город Северо-Кавказского Федерального округа. Город расположен по обоим берегам реки Терек, Население города составляет 307310 человек (2014 г.) плотность населения 1056,05 чел/км². Площадь города 291 км².

Анализ состояния загрязнения атмосферы и заболеваемости населения г. Владикавказ был проведен за пятилетний период (2010–2014 гг.) по данным Министерства здравоохранения, Министерства охраны окружающей среды, Роспотребнадзора, ГИБДД Республики Северная Осетия-Алания.

Вредные выбросы в атмосферу Владикавказ происходят за счет стационарных и передвижных источников. Необходимо отметить, что выбросы от стационарных источников города составляют 79,1% от всех выбросов стационарных источников по всей республике. К основным стационарным источникам относятся заводы «Электроцинк», «Победит», «ВРЗ», «ОЗАТЭ», а так же Владикавказское предприятие тепловых сетей. К передвижным автотранспорт, количество которого из года в год неуклонно растет (рис. 1).

Таким образом, рост автопарка города за пять лет составил 17077 единиц.

При этом следует учитывать, что вследствие относительно небольшой площади республики, значительное количество автотранспорта из районов также эксплуатируется в городе Владикавказе. Расчетные данные выбросов от автотранспорта в динамике за 2010 и 2014 годы представлены в таблице №1 [Бериев, Дзиева, 2015].

Таблица 1

**Расчетные данные выбросов от автотранспорта
в г. Владикавказе в 2010и 2014 годах в тыс. т.**

Годы	Загрязняющие вещества			
	Всего	Оксид углерода	Окислы азота	Углеводороды
2010	74,215	59,372	5,905	9,938
2014	83,56	64,87	6,49	12,2

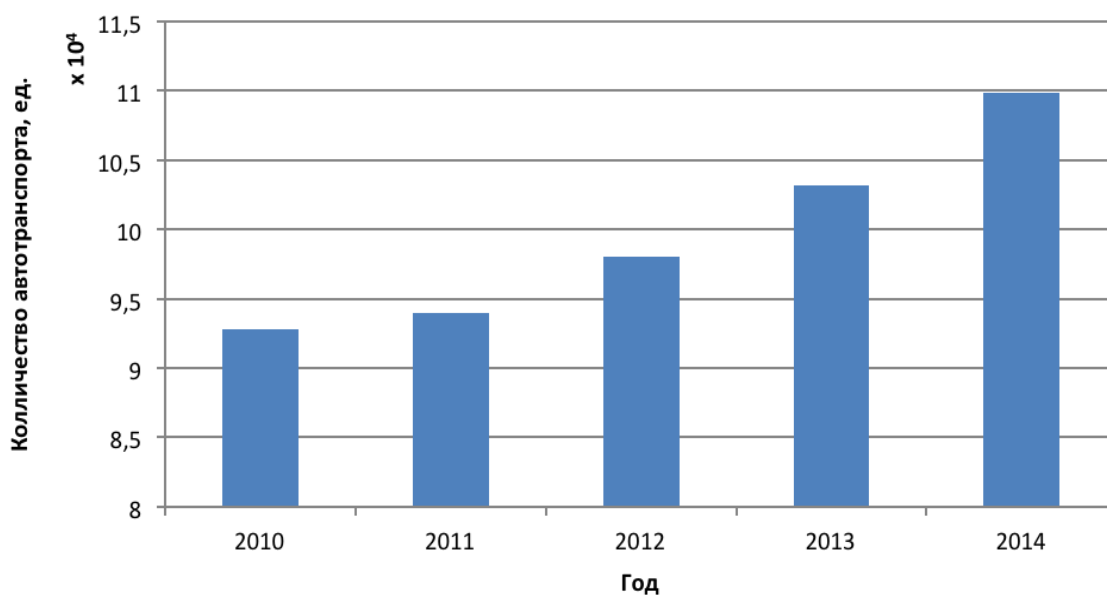


Рис. 1. Количество автотранспорта в г. Владикавказе за 2010–2014 гг.

Как видно из таблицы, идет рост как суммарных выбросов на 9,35 тысяч тонн, так и всех ингредиентов. Характеристика загрязнения атмосферного воздуха в г. Владикавказе в динамике за 2010 и 2014 гг. представлены в таблицах №2 и №3.

Таблица 2

**Характеристика загрязнения атмосферного воздуха
в г. Владикавказе в 2010 г.**

Наименование загрязняющего вещества	№ поста наблюдения	Среднегодовая концентрация мг/м ³	Макс. Разовая концентр. мг/м ³	Количество случаев превыш. ПДК в разгах	ИЗА
Пыль	1	0,02	0,2	0	0,12
	2	0,05	0,4	0	0,34
Сернистый газ	1	0,014	0,493	0	0,28
	2	0,016	0,750	2	0,32
Диоксид азота	1	0,06	0,56	16	1,80
	2	0,05	0,32	2	1,29
Оксид углерода	1	2,2	6	3	0,76
	2	3,2	10	39	1,06
Хлористый водород	2	0,03	0,72	8	0,10
Аммиак	2	0,008	0,08	0	0,27

Пост №1 (метеостанция, ул. Гадиева) ИЗА 4–3,65

Пост №2 (угол улиц Кирова и Коцоева) ИЗА4–2,97

Таблица 3

**Характеристика загрязнения атмосферного воздуха
в г. Владикавказе в 2014 г.**

Наименование загрязняющего вещества	№ поста	Среднегодовая концентрация мг/м ³	Макс. разовая концентр. мг/м ³	Количество случаев превыш. ПДК в разгах	ИЗА
1	2	3	4	5	6
Пыль	1	0,03	0,3	0	0,20
	2	0,03	0,3	0	0,20
Сернистый газ	1	0,011	0,581	1	0,22
	2	0,011	0,889	1	0,22
Оксид углерода	1	2,5	16	38	0,85
	2	3,1	9	70	1,03
Диоксид азота	1	0,05	0,56	33	1,34
	2	0,05	0,26	12	1,34
Оксид азота	2	0,02	0,06	0	0,33
Хлористый водород	2	0,03	0,29	1	0,21
Аммиак	2	0,01	0,04	0	0,31

Пост №1 (метеостанция, ул. Гадиева) ИЗА 4–2,61

Пост №2 (угол ул. Кирова и Коцоева) ИЗА4–2,79

Как видно из таблиц, в 2014 году отмечается снижение концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе города по сравнению с 2010 годом, что обусловлено снижением выбросов заводом «Электроцинк».

Среднегодовое содержание тяжелых металлов в атмосферном воздухе г. Владикавказ в динамике за 2010 и 2014 годы представлены в таблице 4.

Таблица 4

**Среднегодовое содержание тяжелых металлов в атмосферном
воздухе г. Владикавказ в 2010 и 2014 годах (МКГ/МЗ)**

Наименование металла	Среднегодовое значение	
	2010	2014
Хром	0,015	0,156
Марганец	0,046	0,112
Железо	2,9	6,84
Никель	0,026	0,22
Медь	8,4	2,43
Цинк	1,9	2,99
свинец	0,180	0,68

Таким образом среднегодовое содержание хрома и никеля в атмосферном воздухе г. Владикавказа в динамике практически не изменились, а у марганца, железа, цинка и свинца отмечается увеличение. У меди выявлено снижение.

Тенденция изменения уровня загрязнения атмосферы г. Владикавказа за 2010–2014 годы представлены в таблице 5.

Таблица 5

**Изменения уровня загрязнения атмосферы различными примесями.
Тенденция (Т) 2010–2014 годы в г. Владикавказ**

Наименование примеси	Характеристика	Годы					Т%
		2010	2011	2012	2013	2014	
Пыль (взвешенные вещества)	Qср	0,04	0,04	0,03	0,02	0,03	–25
	СИ	0,8	0,6	0,6	0,8	0,6	
	НП	0	0	0	0	0	
Диоксид серы	Qср	0,015	0,016	0,014	0,011	0,011	–27
	СИ	1,5	3,2	1,9	0,4	1,8	
	НП	1,9	0,3	0,1	0	0,1	
Углерода оксид	Qср	2,7	2,9	1,5	1,1	2,8	4
	СИ	10	1,4	0,6	0,8	3,2	
	НП	10,3	2,2	0	0	6,2	
Азота диоксид	Qср	0,05	0,06	0,08	0,05	0,05	0
	СИ	2,8	2,5	4,7	3,8	2,8	
	НП	7,4	2,6	5,4	2,2	2,2	
Азота оксид	Qср	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0
	СИ	0,25	0,2	0,5	0,3	0,2	
	НП	0	0	0	0	0	
Хлористый водорода	Qср	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0
	СИ	3,6	3,3	0,84	0,6	1,5	
	НП	5,1	0,9	0,9	0	0	
аммиак	Qср	0,08	0,009	0,001	0,01	0,01	0
	СИ	0,25	0,6	0,2	0,3	0,2	
	НП	0	0	0	0	0	
В целом по городу	Qср	3,6	3,3	4,7	3,8	3,2	
	СИ	10,3	2,6	5,4	2,2	6,2	
	НП	2,97	3,35	3,47	3,98	2,7	
	ИЗА ₄						

СИ- стандартный индекс, т.е. наибольшая измеренная разовая концентрация примеси, деленная на ПДК.

НП- наибольшая повторяемость (в процентах) превышения максимально разовой ПДК по данным наблюдений за одной примесью на всех постах за год.

Т- тенденция роста уровня загрязнения.

Выбросы в атмосферу от различных источников влияют и на загрязнение почвы в городе. Данные мониторинга загрязнения почвы Владикавказа, в том числе и в разрезе муниципальных округов представлены в таблице 6 и на рисунке 2.

Ранжирование по уровню загрязнения почвы выявило, что наиболее загрязненным районом города Владикавказа является Промышленный и Иристонский муни-

ципальные округа, которые с 2013 года объединены в Правобережный район города Владикавказа и в котором расположены предприятия, загрязняющие окружающую среду города Владикавказа.

Таким образом, представленные в таблице данные говорят о том, что в городе Владикавказе наметилась тенденция к снижению выбросов в окружающую среду главным образом за счет объема производств и выполнения природоохранных мероприятий на промышленных предприятиях города. Вместе с тем, отмечается рост количества автотранспорта и его техногенная нагрузка на среду, а так же высокий уровень загрязнения почвы, особенно в районах расположения крупных промышленных предприятий.

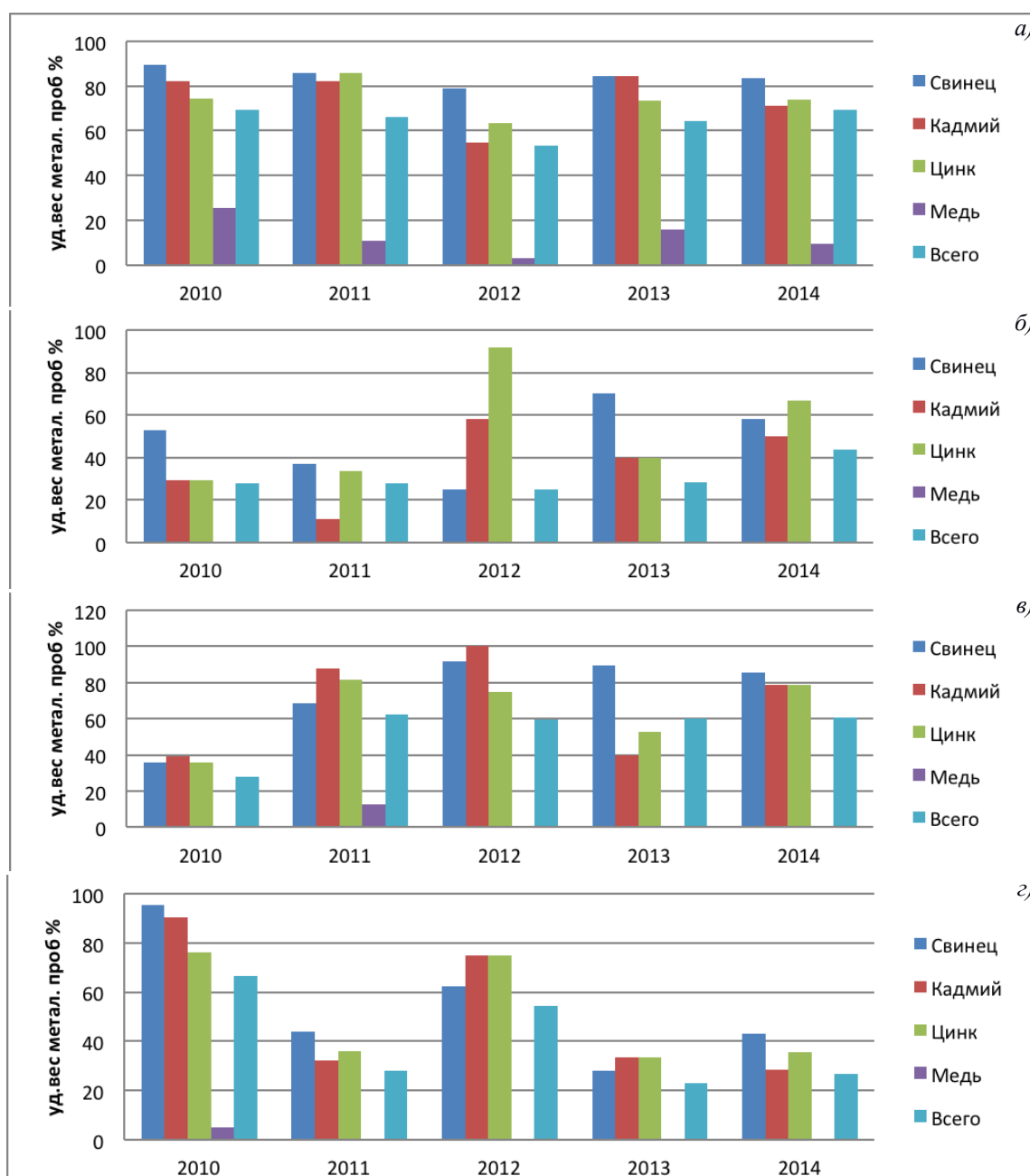
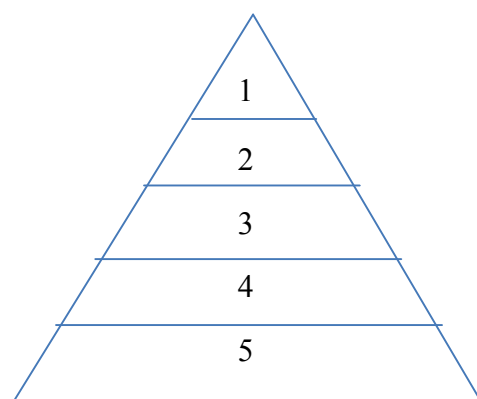


Рис. 2. (Окончание) Загрязнение почвы г. Владикавказа в разрезе муниципальных округов за 2010–2014 годы (а – Промышленный МО, б – Северо-западный МО, в – Иристонский МО, г – Затеречный МО)

Таблица 6

Данные мониторинга загрязнения почвы в г. Владикавказе за 2010–2014 годы

Мониторимые показатели	2010			2011			2012			2013			2014		
	Всего проб	Нест – дартн.	Уд.вес %	Всего проб	Нест – дартн.	Уд.вес %	Всего проб	Нест – дартн.	Уд.вес %	Всего проб	Нест – дартн.	Уд.вес %	Всего проб	Нест – дартн.	Уд.вес %
Свинец	105	74	70,5	111	56	50,5	80	57	71,3	89	70	71,3	82	60	73,2
Кадмий	105	69	65,7	111	56	50,5	69	48	69,6	89	62	69,6	82	51	62,2
Цинк	105	60	57,1	111	55	49,5	80	58	72,5	89	60	72,5	82	55	67,1
Медь	105	11	10,5	111	5	4,5	80	4	2,5	89	8	2,5	82	4	9,0
Всего исследований	420	214	51,0	444	172	38,7	309	157	50,8	356	200	50,8	328	170	51,8



1-смертность; 2-заболеваемость; 3-филиологические признаки заболевания; 4- сдвиги жизнедеятельности; 5-накопление загрязнений в органах и тканях.

Рис. 3. Реакция организма на воздействие загрязнителей окружающей среды по данным ВОЗ

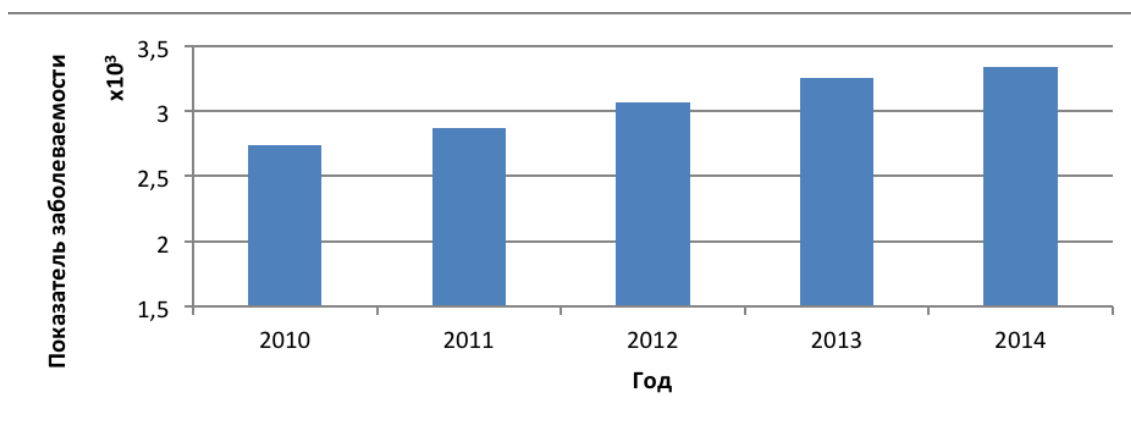


Рис. 4. Заболеваемость населения г. Владикавказа злокачественными заболеваниями за 2010–2014 гг. (на 100 тыс. населения)

Организм, по данным Всемирной Организации Здравоохранения (ВОЗ) реагирует на воздействие загрязнителей окружающей среды. Таким образом сначала идет процесс накопления загрязнителей в органах и тканях, потом отмечается сдвиг иммунодеятельности, физиологические признаки заболевания, затем сама заболеваемость и смертность от заболевания (рис. 3).

Маркером экологического неблагополучия является заболеваемость населения злокачественными заболеваниями (рис. 4).

Показатели впервые выявленной заболеваемости взрослого и детского населения города Владикавказа за изучаемый период по основным классам болезней приведены в таблицах №7,8 [Гос. доклад, 2015].

Анализируя показатели таблиц заболеваемости, следует отметить, что у взрослого населения при сохраняющейся тенденции к снижению общей заболеваемости идет рост новообразований, в том числе злокачественных. Отмечается так же рост болезней крови и кроветворных органов, болезней системы кровообращения, болезней органов пищеварения. В 2013 году выросла заболеваемость кожи и подкожной клетчатки, костно-мышечной системы и врожденных аномалий. У детей так же отмечается рост новообразований в том числе в 2011 и 2012 года злокачественных.

Таблица 7

**Показатели впервые выявленной заболеваемости взрослого населения
г. Владикавказа за 2010–2014 гг. по основным классам болезней
(на 100 тыс. населения)**

Заболеваемость	2010	2011	2012	2013	2014
Всего	53842,7	52456,6	49197,0	52417,6	53962,6
Инфекционные и паразитные болезни	2152,2	1980,6	1499,5	1109,2	2683,5
Новообразования	1079,6	929,4	1087,8	864,7	1200,1
В том числе злокачественные	392,9	400,6	430,6	403,1	420,1
Болезни крови и кроветворных органов	21,4	23,4	22,7	59,0	21,8
Болезни эндокринной системы	770,9	697,4	628,7	511,6	759,4
Болезни нервной системы	1000,1	1298,5	1510,3	1693,5	2468,2
Болезни глаз	4531,9	4092,1	4348,4	3919,2	5014,8
Болезни уха	5571,0	4659,7	5594,7	4123,1	6280,1
Болезни системы кровообращения	4347,6	4562,9	5079,8	7837,0	1796,4
Болезни органов дыхания	12974,2	14042,5	10389,4	15316,3	13912,1
Болезни органов пищеварения	1147,0	1150,6	940,8	1256,1	1223,0
Болезни кожи и подкожной клетчатки	2642,1	2615,0	2538,8	3336,1	3161,9
Болезни костно-мышечной системы	2446,8	1962,5	2285,6	3210,8	2309,6
Болезни мочеполовой системы	3509,6	4059,4	3159,8	3441,3	4466,1
Врожденные аномалии	5,1	0	5,8	14,1	17,1
Травмы и отравления	8264,5	6958,3	7789,8	5814,8	2777,9

Таблица 8

**Показатели впервые выявленной заболеваемости детского населения
города Владикавказа за 2010–2014 гг. (на 100 тыс. населения)**

Заболеваемость	2010	2011	2012	2013	2014
Всего	149404,7	175205,0	154889,5	129288,3	157941,1
Инфекционные и паразитные болезни	2176,5	2622,1	2358,0	3288,0	2775,6
Новообразования	246,5	325,1	410,7	268,5	555,5
В том числе злокачественные	9,5	21,0	19,5	12,0	12,2
Болезни крови и кроветворных органов	574,5	458,0	463,8	549,8	424,9
Болезни эндокринной системы	529,0	459,8	295,6	356,3	715,7

Болезни нервной системы	2261,8	43545	2818,3	1718,3	2409,93
Болезни глаз	10616,9	11021,8	7900,8	5181,8	10000,2
Болезни уха	7718,1	7048,3	7647,6	4507,5	7135,8
Болезни системы кровообращения	513,8	660,8	586,0	317,3	409,2
Болезни органов дыхания	88217,1	102618,7	93796,9	85045,7	98753,2
Болезни органов пищеварения	2610,6	2473,6	1991,6	2591,3	2408,2
Болезни кожи и подкожной клетчатки	5994,8	7389,2	5919,8	5867,3	6996,5
Болезни костно-мышечной системы	4207,0	4796,8	5663,1	3007,5	5096,7
Болезни мочеполовой системы	2845,7	2006,8	1832,2	2507,3	2448,8
Врожденные аномалии	1897,8	3754,9	4914,3	2340,8	5204,7
Травмы и отравления	7907,7	14937,5	8849,7	4974,0	2598,0

Остальные показатели заболеваемости детского населения имеет тенденцию к снижению [Гос. доклад, 2014].

Таким образом, анализ уровня заболеваемости и загрязнения окружающей среды города Владикавказа показал, что наметилась тенденция к снижению уровня выбросов и общей заболеваемости населения. Вместе с тем. Отмечается рост количества автотранспорта, довольно высокий уровень загрязненности почвы, особенно в промышленной зоне, и заболеваемость по некоторым классам болезней, включая новообразования.

Все вышесказанное требует продления мониторинга за состоянием окружающей среды, разработку и выполнение природоохранных мероприятий, изучение влияния различных загрязняющих веществ на здоровье населения нашего города.

Литература

1. Бериев О. Г., Дзиева О. В. Анализ уровня заболеваемости и загрязнения окружающей среды г. Владикавказа. Материалы V международной заочной научно-практической конференции «Образование, охрана труда и здоровье». Владикавказ: Издательство «Профиздат», 2015. С.37–43.
2. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды и природных ресурсов Республики Северная Осетия-Алания в 2014 году». Владикавказ, 2015–154с.
3. Государственный доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Республике Северная Осетия-Алания в 2013 году». Владикавказ, 2014–199с.

STATE OF ATMOSPHERIC POLLUTION AND MORBIDITY OF THE POPULATION OF VLADIKAVKAZ CITY

**© 2015 O. G. Beriev, Sc. Doctor (Med.), prof., V. B. Zaalishvili, Sc. Doctor
(Phys.-Math.), prof.**

GPI VSC RAS, Russia, 362002, Vladikavkaz, Markov str., 93 a,
e-mail: cgi_ras@mail.ru.

State of air pollution and the incidence of population on the territory of Vladikavkaz city for the five-year period are investigated in the paper. The tendency of reduction of emissions into the environment (mainly due to the reduction of production volume and implementation of environmental activities at the industrial enterprises of the city) is stated. At the same time, number of vehicles and corresponding anthropogenic impact on the environment are steadily increasing.

Key words: disease incidence, population, urbanized territory, ecology, environment.

УДК 662.51:556.3

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ШАХТНЫХ ВОД ВОСТОЧНОГО ДОНБАССА ЗА СТОЛЕТНИЙ ПЕРИОД

© 2015 А. И. Гавришин, д.г.-м.н., проф.

Южно-Российский государственный политехнический университет им. М. И. Платова, 346428, Россия, Ростовская обл., г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132, e-mail: agavrishin@rambler.ru

Закономерности формирования химического состава шахтных вод в Восточном Донбассе изучены за столетний период с 20-х годов XX века по 2010 год. Всего использовано более 1500 анализов. Наибольшие изменения химического состава отмечены в 40-е и 50-е годы, и после массовой ликвидации угольных шахт в регионе в 90-е годы. Вынос растворённых веществ шахтными водами на поверхность достиг максимума к 2010 году, что вызвало интенсивное загрязнение природных вод. Выделено четыре главных направления трансформации химического состава шахтных вод в регионе, дана интерпретация их генезиса.

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

Введение

Добыча полезных ископаемых сопровождается интенсивным изменением естественного энерго-массопереноса, когда из недр на поверхность земли извлекаются огромные массы горных пород, руд, угля, подземных вод и т.д.; это приводит к существенным изменениям строения, свойств и состава верхней части гидросферы, снижению экологического потенциала территории. В Донбассе длительная отработка угольных месторождений привела к значительному преобразованию гидрогеологических условий на территориях в сотни квадратных километров и на глубину до 1300 м; эти преобразования продолжаются в настоящее время [Мохов, 2012]. Изменился режим и баланс подземных вод, произошла трансформация химического состава природных вод с образованием минерализованных шахтных вод, загрязнение поверхностных водотоков, развитие процессов консолидации и уплотнения пород и многие другие негативные явления и процессы.

Реструктуризация угольной промышленности и массовое закрытие угольных шахт в Восточном Донбассе интенсифицировали процессы оседания земной поверхности и деформации горных пород, подтопления территорий и породных отвалов, формирования аномальных по составу вод и интенсивное загрязнение поверхностных вод, выделение «мертвого воздуха» и многие другие отрицательные явления.

Все эти негативные факторы вызвали многочисленные деформации и разрушение сооружений, производственных и жилых зданий, что потребовало переселения части населения на безопасные территории. Возникли проблемы в большинстве компонентов окружающей среды: воздушной, водной, биологической, геологической и социальной [Гавришин, 1974, 2011; Гавришин, Корadini, 2009; Мохов, 2011, 2012].

Методика исследований

Выявление и количественное описание гидрогеохимических закономерностей выполнено с применением компьютерной технологии AGAT-2, реализующей *G*-метод классификации многомерных наблюдений (выделение однородных совокупностей), который основан на оригинальном критерии Z^2 – Гавришина [Гавришин, 1974; Гавришин, Корadini, 1994; Gavrishin et al., 1992; Gavrishin, 2014]. Для зависимых признаков и независимых наблюдений критерий имеет следующий вид:

$$Z^2 = \frac{M}{\sum_{sk} r_{sk}^2} \cdot \sum_{ij}^{MN} \frac{\left(X_{ij} - \bar{X}_j \right)^2}{S_j^2} = K \sum_{ij}^{MN} Z_{ij}^2$$

$$f = K \cdot M \cdot N, \quad G = \sqrt{2Z^2} - \sqrt{2(f - 1)},$$

где X_{ij} – значение признака j в наблюдении i ; \bar{X}_j , S_j – среднее значение и стандартное отклонение признака j ; r_{sk} – коэффициент корреляции между признаками s и k ; M – число признаков; N – число наблюдений; f – число степеней свободы; G – преобразования распределения χ^2 к нормальному с параметрами (0,1). Если вычисленное $G > G_q$, то наблюдение (или N наблюдений) не принадлежат данному однородному классу наблюдений с уровнем потерь q .

G-метод был широко использован для построения классификаций и описания пространственно-временных закономерностей формирования объектов и систем на Земле, Луне, Марсе, Сатурне, астероидах и в дальнем космосе [Гавришин, 1974, 2005]. Он характеризуется следующими наиболее важными свойствами: построение классификации многомерных наблюдений при отсутствии априорных сведений о таксономической структуре наблюдений (задача без учителя); использование зависимых признаков; выделение таксонов различного уровня детальности; оценка сходства-различия между однородными таксонами; определение информативности признаков.

Кроме *G*-метода при интерпретации гидрогеохимических данных применены разнообразные математико-статистические процедуры, в том числе корреляционный и регрессионный анализы. В простейшем случае, для описания прямолинейной зависимости использован парный коэффициент корреляции r и общее регрессионное уравнение:

$$y = a + bx,$$

где a – свободный член в уравнении регрессии; b – угловой коэффициент, показывающий интенсивность изменения y в зависимости от изменения значений x .

Для описания криволинейных зависимостей предложена универсальная функция:

$$y = \sum_i a_i \cdot 10^{-\frac{(\lg x - b_i)^2}{c_i}},$$

где a_i – коэффициенты, характеризующие модальные (вершины) значения функции; b_i – коэффициенты, характеризующие расположение по оси x модальных значений; c_i – коэффициенты, характеризующие пологость линии регрессии; i – номер модального значения.

В название вод ионы включаются при содержании более 25%-молей и компоненты располагаются в порядке возрастания содержаний.

Химический состав шахтных вод

Химический состав шахтных вод зависит от многих факторов и, прежде всего, от состава дренируемых подземных и поверхностных вод, результатов их взаимодействия с углями и вмещающими породами, способов разработки угольных пластов, методов ликвидации угольных шахт. В табл. 1 приведён средний химический состав шахтных вод по результатам опробования за столетний период.

Таблица 1

Средний химический состав шахтных вод в различные периоды опробования (мг/л и % – моль, в скобках указаны содержания Fe в мг/л по ограниченному числу наблюдений)

Период	pH	HCO ₃	SO ₄	Cl	Ca	Mg	Na	Fe	Mn
20-е годы	6,9	183	1443	397	233	184	405	(0,1)	2840
		7	68	25	26	35	39		
40-е годы	4,4	25	2590	257	304	219	642	(32)	4040
		1	88	11	25	30	45		
50-е годы	5,2	221	2795	443	330	191	964	(52)	4947
		5	78	17	23	20	57		
1966 год	6,7	264	1741	448	98	217	710	1,1	3500
		8	68	24	10	35	55		
1992 год	7,5	580	1700	730	205	137	1035	3,6	4390
		15	54	31	15	17	68		
1999 год	7,6	676	1542	378	157	129	800	6,6	3546
		20	60	20	15	20	65		
2002 год	7,1	610	2372	445	223	250	886	47	4810
		16	63	21	17	26	57		
2006 год	6,9	505	2800	322	296	260	923	83	5290
		11	77	12	19	29	52		
2010 год	7,1	626	2805	443	386	267	912	39	5466
		13	72	15	24	27	49		

В 20-е годы минерализация вод (по сумме ионов) изменялась в широком диапазоне от 0,4 до 7 и в среднем равнялась 2,8 г/л [Дуров, 1952; Заяц, Фесенко, 1963]. Около 25% проб имели минерализацию до 2 г/л, 64% – в интервале 2–5 г/л и 11% – более 5 г/л. По среднему составу это хлоридно-сульфатные кальциево-магниевонариевые воды, второго типа по классификации О. А. Алекина.

Характеристика шахтных вод в 40-е годы приводится по небольшой выборке в 24 пробы. Большинство шахт было восстановлено после ликвидации во время оккупации территории в Великую Отечественную войну и это сказалось на формировании шахтных вод, начали развиваться интенсивные процессы окисления и растворения ранее накопленных продуктов окисления [Дуров, 1952]. Этим объясняется довольно низкое среднее значение pH вод, высокая степень минерализация вод (4 г/л) и содержания большинства компонентов, за исключением Cl, по сравнению с 20-ми годами.

В выборке (50-е годы) представлены старые восстановленные шахты, где продолжали формироваться высокоминерализованные воды кислого состава [Дуров, 1952; Заяц, Фесенко, 1963]. По сравнению с данными 20-х годов в среднем увеличились приблизительно в два раза минерализация вод и содержание SO_4 и Na. Таким образом, резкое увеличение минерализации и содержания SO_4 (при снижении pH) было спровоцировано затоплением шахт во время оккупации Донбасса и оно сохраняется на долгие годы.

60-е годы были «золотым» периодом развития угольной промышленности всего Донецкого бассейна, когда интенсивно сооружались и вводились в строй многочисленные угледобывающие и углеперерабатывающие предприятия. Химический состав вод весьма неоднороден: величина pH вод изменяется от щелочной (8,6) до сильно кислой (2,2), содержание HCO_3^- – от полного отсутствия в кислых водах до 966, SO_4 – от 390 до 4327, Cl – от 46 до 1972 мг/л. Содержания катионов изменяются также значительно: Ca от 15 до 360 (видимо, занижены), Mg – от 14 до 510, Na – от 170 до 1750 мг/л. Таким образом, концентрация большинства компонентов изменяется в 10–20 раз, Mg и SO_4 – в 6–12 раз. В среднем по составу воды сульфатные магниевые-натриевые, второго типа по О. А. Алекину (обнаружены отдельные пробы первого и четвертого типов).

В 1992 г. перед периодом массового закрытия опробовано 46 угольных шахт [Гавришин, Корadini, 1994, 2009]. Для всей выборки шахтных вод характерна высокая неоднородность состава и несимметричность распределения содержаний компонентов; минерализация изменяется в пределах 2,2–9,6, содержание Cl – 0,45–3,1, SO_4 –0,6–5 г/л и т.д. По сравнению с предыдущими периодами опробования возросла средняя минерализация и содержание ионов Cl, Na и HCO_3^- . В среднем по составу воды хлоридно-сульфатные натриевые, нейтральные, второго типа по О. А. Алекину.

В 1994 году началась ликвидация угольных шахт в Восточном Донбассе путём полного затопления шахт, с перетоком вод в соседние ликвидированные шахты, с поддержанием уровней вод на безопасной глубине. Осуществлена ликвидация более чем 40 шахт. Поток вод был направлен из недр в отработанное пространство шахт, и отобрать пробы вод не было возможности. Поэтому характеристика состава шахтных вод приведена по результатам опробования 14 активно функционировавших в то время шахт (табл. 1).

От 2002 к 2010 году систематически увеличивались минерализация вод и содержание всех компонентов. Всё это свидетельствует о том, что ликвидация шахт привела к усилению процессов окисления и растворения и негативное воздействие на все компоненты окружающей среды растёт. Это требует эффективных мер по реабилитации состояния окружающей среды региона. Обобщение данных показало, что после завершения ликвидации угольных шахт, вызвавшей вынос растворенных веществ, содержания сульфат-иона и, особенно, железа достигли максимальных значений, т.е. процесс загрязнения поверхностных и подземных вод получил еще большее развитие в исследуемом регионе.

Многие реки в Восточном Донбассе под влиянием сброса шахтных вод практически утратили водохозяйственное значение и рекреационную ценность. Сократились запасы, ухудшилось качество, вырос дефицит питьевых и технических природных вод. В табл. 2 приведены данные о выносе растворенных веществ и некоторых компонентов шахтными водами в гидрографическую сеть Восточного Донбасса (2002 г.), когда процесс ликвидации шахт почти завершился.

Во всех случаях снижается величина pH, минерализация увеличивается до 2 раз, содержание SO_4^{2-} – до 3-х раз, железа – в десятки раз. Кроме того, обнаруживается повышенное содержание Mn, Al, Cu и других компонентов. На воды р. Кадамовка, например, основное влияние оказывает сброс шахты Глубокая, воды которой имеют минерализацию до 12700, содержание сульфат-ионов – до 8200 и железа – до 110 мг/л.

Наибольший вынос растворенных веществ, сульфат-иона и железа происходит в реку Грушевка (167; 91 и 2,5 тыс. т/год соответственно), Кундрючья (100; 50; 0,37), Кадамовка (91; 57; 0,76), Лихая (35; 17; 0,48) (табл. 2). Наиболее загрязненным является бассейн р. Тузлов. Следовательно, требуется принятие неотложных мер по охране поверхностных вод региона.

Для определения основных направлений и генезиса изменений химического состава шахтных вод в Восточном Донбассе использованы 46 результатов анализа вод за 1992 год, перед периодом массовой ликвидации шахт региона. С помощью G-метода последовательного классификационного анализа по компьютерной программе АГАТ-2 обнаружены восемь однородных гидрогеохимических видов химического состава шахтных вод. Анализ пространственного распределения наблюдений в координатах: «минерализация – содержания компонентов» позволил уверенно обнаружить четыре главных геохимических направления изменения химического состава шахтных вод. Особенности химического состава вод различных геохимических направлений отчетливо фиксируются уже по среднему составу (табл.1): первое направление – это слабокислые сульфатные магниевые-кальциево-натриевые воды, второе – нейтральные хлоридно-сульфатные натриевые, третье – слабощелочные сульфатно-хлоридные натриевые, четвертое – нейтральные гидрокарбо-

Таблица 2.

Вынос растворенных веществ и отдельных компонентов шахтными водами в гидрографическую сеть Восточного Донбасса

Бассейн, река	Показатели шахтных вод					
	Расход шахтных вод, млн. м ³ /год	Растворенные вещества, тыс. т/год	Сульфат-ионы, тыс. т/год	Железо, тыс. т/год	Сухой остаток, г/л	pH
Б. Каменка	4,0	19,4	8,2	0,013	4,8	7,5
М. Каменка	0,44	2,2	1,3	0,012	5,1	6,5
Калитва	0,4	2,4	1,3	0,002	6,0	6,4
Лихая	7,5	35,0	17	0,48	4,7	7,0
Быстрая	2,5	17,5	7,7	0,3	7,0	6,3
Кундрючья	25	100	50	0,37	4,0	7,5
Всего Северский Донец	40	184	86	1,2	4,5	7,3
Б. Несветай	1,3	9,8	5,3	0,16	7,5	6,6
Грушевка	22,8	167	91	2,5	7,5	6,6
Кадамовка	7,6	90,7	57	0,76	11,9	6,2
Всего р. Тузлов	31,4	269	155	3,4	8,6	6,6
Итого р. Дон	72,4	453	241	4,6	6,3	7,0

натно-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.

Первое направление связано с преобразованием исходных слабоминерализованных гидрокарбонатно-сульфидных вод в кислые (рН до 2,0) сульфатные воды с высокими содержаниями Fe, Mn, Al, Cu и других металлов и обусловлено интенсивным развитием процессов окисления серы. Типоморфными компонентами этих вод являются SO_4 (высокие содержания) и HCO_3 (низкие содержания).

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 соединений серы, приблизительно равную роль начинают играть процессы увеличения концентраций хлорид-ионов за счет притока хлоридных подземных вод при углублении угольных шахт. Типоморфными компонентами второго направления являются SO_4 и Cl (повышенные содержания).

Третье геохимическое направление изменения состава шахтных вод фиксирует преобразование 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 SO_4 и процесс окисления сульфидов переходит на второе место (кислые воды при этом не образуются). Типоморфным компонентом направления является Cl (высокие содержания).

По четвертому геохимическому направлению изменения химического состава шахтных вод образуются оригинальные содовые гидрокарбонатно-сульфатно-хлоридные и хлоридные натриевые воды с высокими содержаниями HCO_3 и очень низкими – Ca и Mg. Типоморфными компонентами четвертого направления являются содержания HCO_3 и Cl (высокие содержания), а также Ca и Mg (низкие содержания). Теперь ведущую роль начинает играть приток содовых подземных вод, которые формируются в результате испарительно-конденсационных процессов в водоуглеродной газовой фазе [Колодий, 1975] (обратная геохимическая зональность подземных вод региона [Гавришин, 2005; Гавришин, Корadini, 2009]) (рис. 1).

На рис. 1 хорошо видны закономерности формирования химического состава по обратной вертикальной геохимической зональности. Сначала под влиянием инфильтрационного фактора происходит увеличение минерализации и содержания большинства компонентов. Но с глубины 250–300 м начинается влияние фактора, который приводит к формированию вод содового типа. Как отмечалось выше, этим фактором является испарительно-конденсационный процесс в водоуглеродной фазе. Именно это свидетельствует о возможном наличии нефтегазовых скоплений в регионе. Перетекание вод в вертикальном направлении связано со сложным тектоническим строением территории (наличие многочисленных тектонических нарушений). А. В. Мохов справедливо отмечает, что растекание происходит в виде восходящих потоков и что также получило распространение перетекание шахтных вод из затопленных шахт по латерали под воздействием естественных импульсов напряженно-деформированного состояния недр [Мохов, 2011, 2012].

Вокруг угольных шахт, где образуются содовые воды четвертого направления, наиболее высоки перспективы обнаружения нефтегазовых скоплений, например, в структурах Гуково-Зверевского геолого-промышленного (угольного) района. Важ-

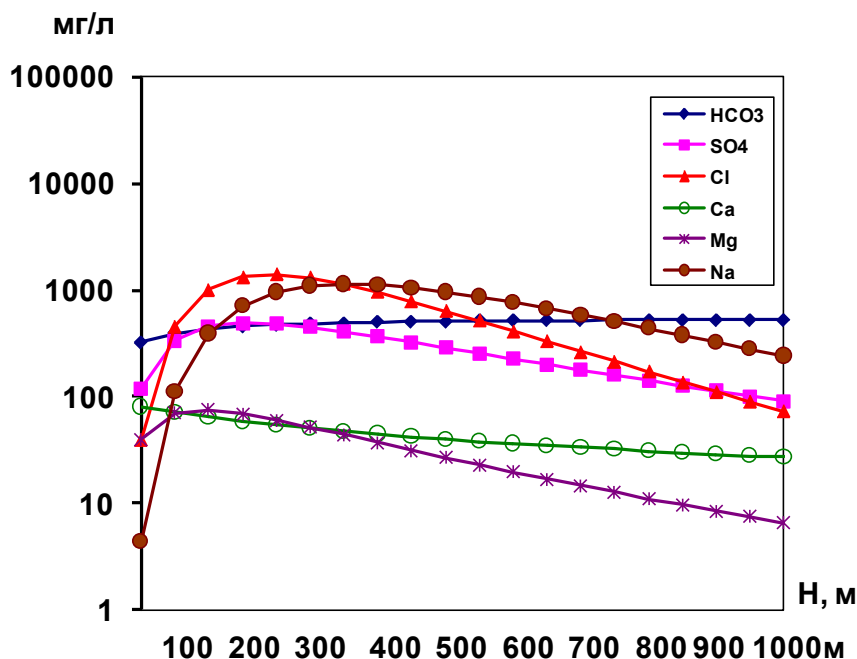


Рис. 1. График распределения содержаний компонентов подземных вод в разрезе при обратной вертикальной гидрогеохимической зональности

но отметить, что в пределах Восточного Донбасса в северной зоне мелкой складчатости обнаружены перспективные нефтегазопроявления [Бобух и др., 2004].

Заключение

Анализ закономерностей изменений химического состава шахтных вод в Восточном Донбассе за столетний период показал, что этот процесс носит волнообразный характер. Наряду с периодами относительной стабилизации, установлены периоды интенсификации процессов окисления выщелачивания и растворения. Эти процессы приводят к резкому увеличению минерализации вод и особенно содержания сульфатов и железа. Такая ситуация обнаружена в шахтных водах после периодов затопления шахт (послевоенные 40-е – 50-е годы и после ликвидации угольных шахт в 90-е годы).

Применение *G*-метода классификации многомерных наблюдений позволило надёжно выявить и интерпретировать генезис четырёх основных направлений изменения состава шахтных вод [Гавришин, 2005].

Генезис первого направления связан с влиянием интенсивных процессов окисления сульфидов, содержащихся в углях и вмещающих породах. По анионному составу воды сульфатные. Типоморфными компонентами являются сульфаты, железо, тяжёлые металлы (высокие содержания), гидрокарбонат-ион (низкие содержания), кислая реакция среды.

Второе направление изменения состава шахтных вод обусловлено ослаблением процессов окисления и началом притока хлоридных вод с углублением горных выработок. По составу воды хлоридно-сульфатные. Уменьшаются содержания железа и тяжёлых металлов. Типоморфными компонентами являются SO₄ и Cl (повышен-

ные содержания). По третьему направлению формируются сульфатно-хлоридные воды, и их генезис связан преимущественно с процессами привноса хлорид-иона подземными водами. Типоморфным компонентом является Cl (высокие содержания).

Четвёртое направление изменения состава шахтных вод относится к уникальным, поскольку формируются оригинальные содовые воды. Их генезис связан с притоком в горные выработки содовых подземных вод, которые, по нашему мнению, образуются в результате процессов конденсации водяных паров из водоуглерод смеси [Гавришин, 2005; Колодий, 1975]. Типоморфными компонентами являются HCO_3 и Cl (высокие содержания), а также Ca и Mg (низкие содержания). Теперь следует признать наличие в пределах Восточного Донбасса нефтегазовых скоплений, особенно в Гуково-Зверевском угленосном районе [Гавришин, 2005].

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. Гидрогеохимические исследования с применением математической статистики и ЭВМ. М.: Недра, 1974. – 146 с.
3. Гавришин А. И. О генезисе маломинерализованных содовых вод Донбасса. // Доклады РАН. – 2005. Т. 404. – №5. – С. 668–670.
4. Гавришин А. И. Энвайрология – наука об окружающей среде. // Материалы Всерос. Науч. Конф. Проблемы геологии, планетологии, геоэкологии и рационального природопользования. Новочеркасск: изд. ООО ЛИК. – 2011. – С. 22–32.
5. Гавришин А. И., Корadini А. Многомерный классификационный метод и его применение при изучении природных объектов. М.: Недра. – 1994. – 92 с.
6. Гавришин А. И., Корadini А. Происхождение и закономерности формирования химического состава подземных и шахтных вод в Восточном Донбассе. // Водные ресурсы. 2009. Т. 36, №5. С. 564–574.
7. Дуров С. А. Шахтные воды Донбасса как чистая генетическая линия сульфатного типа природных вод // Тр. Новочеркасского политехн. ин – та. 1952. Т. 38. 54 с.
8. Заяц Г. Н., Фесенко Н. Г. Шахтные воды Ростовской области // Гидрохим. материалы. 1963. Т. 35. – С. 131–134.
9. Колодий В. В. Подземные конденсационные и седиментационные воды нефтяных, газоконденсатных и газовых месторождений. Киев: Наукова думка. – 1975. – 124 с.
10. Мохов А. В. О растекании шахтных вод из затопленных угольных шахт в недрах // Доклады РАН. – 2011, Т. 438. – №4. – С. 494–496.
11. Мохов А. В. Гидродинамическая эволюция пустотного пространства каменноугольных шахт под влиянием затопления // Вестник Южного научного центра РАН. – 2012, том 8. – №3. – С. 42–49.
12. Gavrishin A. I., Coradini A., Cerroni O. Multivariate classification method in planetary sciences // Earch, Moon Planets. 1992. № 59. PP. 141–152.
13. Gavrishin A. I. The Methodological Aspect of Development and Application Multivariate Classification G-Mode for Analyses Geochemical Trend. // Journal of Advances in Applied & Computational Mathematics. 2014. Vol.1, No. 1. PP. 21–27.

PECULIARITIES OF FORMATION OF CHEMICAL COMPOSITION OF THE EASTERN DONBAS MINE WATERS FOR A CENTENARY PERIOD

© 2015 A. I. Gavrishin, Sc. Doctor (Geol.-Min.)

M. I. Platov South-Russian State Polytechnic University, 346428, Novocherkassk,
Prosveshcheniya, 132, SRSPU, e-mail: agavrishin@rambler.ru

Regularities of formation of chemical composition of mine waters in the Eastern Donbas are studied in the space of the centenary since twenties of 20 century until the year 2010. In all, more than 1500 analyses have been used. The largest changes of chemical composition are recorded in 40-th and 50-th years, and after mass liquidation of coal mines in the region. The carrying away of dissolved substances reached its maximum in the year 2010, what caused an intensive pollution of natural waters. The four main directions of transformation of mine waters' chemical composition have been singled out in the region and interpretation of their genesis given.

Key words: Eastern Donbas, mine waters, chemical composition.

УДК 551.4.04

МОНИТОРИНГ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОПОЛЗНЕВЫХ ПРОЦЕССОВ В ГОРОДЕ ГРОЗНОМ

© 2015 Е. В. Дмитриева, И. А. Сергеев, С. И. Сергеев,
А. А. Стефанов, А. И. Тихонов

ЗАО НТК «Союзтехнопроект», Россия, 111141, Москва, ул. Плеханова, 7,
e-mail: sergeev@stpro.ru

В данной статье рассматривается применение кинотеодолитного метода для наблюдения за динамикой смещений оползневого склона. В сочетании с метеорологическим и геофизическим мониторингом кинотеодолитный метод позволяет заблаговременно распознать переход оползня в активное состояние и в итоге провести мероприятия по защите населения до начала фазы катастрофических смещений.

Ключевые слова: склон, оползень, землетрясение, осадки, чрезвычайная ситуация, видеомониторинг, кинотеодолит, Чеченская Республика, Грозный.

1. Комплексы мониторинга метеорологических параметров, интенсивности сейсмических воздействий и кинетической активности оползневого тела

В рамках работы «Разработка и опытная эксплуатация сегмента автоматизированной системы мониторинга опасных природных (склоновых) процессов на территории Чеченской Республики, комплекса средств прогноза, визуализации и оповещения возникновения чрезвычайных ситуаций природного характера», выполненной в 2014–2015 годах, создана опытная зона автоматизированной системы мониторинга опасных природных (склоновых) процессов, комплекса средств прогноза, визуализации и оповещения возникновения чрезвычайных ситуаций природного характера на территории Чеченской Республики.

Предметом мониторинга в опытной зоне является участок северного склона Сунженского хребта к югу от посёлка Подгорный в Старопромысловском районе города Грозного.

Оползень над поселком Подгорный Старопромысловского района города Грозного приурочен к старому потенциально-оползневому склону Сунженского хребта. Оползневая опасность склона обусловлена геоморфологическими параметрами (достаточная крутизна склона, изменяющаяся от 10 до 20 градусов) и наличием покровного чехла глинистых отложений, склонных к проявлению оползневых деформаций в условиях обводнения или других воздействий, в т.ч. техногенных. На склоне выражены старые эрозионные формы, представленные лощинами стока. Активизация оползневого процесса на склоне над пос. Подгорным произошла в 2010–2011 годах и сопровождалась разрушением 6 домов. В результате оползня еще приблизительно 90 домов попали в зону оползневого риска с угрозой разрушения или аварийных деформаций [Оценка воздействия..., 2011].

Оползневой процесс относится к категории «ритмических» и периоды его активизации сменяются периодами приостановки процесса смещений. В целом на



Рис. 1. Формирование новых оползневых бровок над пос. Подгорным

территории Чеченской Республики активизация оползней происходит ежегодно, очень часто она сопровождается приростом оползневых площадей на существующих оползнях и образованием новых оползневых форм на ранее относительно стабильных участках. Так, при проведении обследования склона в начале июня 2015 г. в районе проектируемого полигона были выявлены признаки весенней активизации, проявляющиеся в подновлении старых трещин растяжения, приуроченных к основанию стенок отрыва, а также в формировании новых оползневых бровок на склоне.

Объектами мониторинга в опытной зоне являются:

- метеорологические параметры;
- интенсивность сейсмических воздействий;
- смещение поверхностных реперов на оползнеопасном склоне.

Опытная зона автоматизированной системы мониторинга опасных природных (склоновых) процессов на территории Чеченской Республики состоит из:

- автоматизированного терминала контроля, включающего:
 - модуль видеомониторинга;
 - модуль контроля сильных движений земли;
 - модуль метеорологического мониторинга;
- программно-технического комплекса мониторинга в составе:
 - сервер приёма и обработки данных;
 - комплект телекоммуникационного оборудования;
 - ЭВМ мониторинга, прогнозирования, оповещения.

Взаимосвязь элементов системы производится двумя способами:

- сеть Интернет (по интерфейсу Ethernet), оператор «Вайнах Телеком»;
- сотовая сеть GSM (службы SMS и CSD), оператор «Мегафон».

Модуль метеорологического мониторинга размещен на территории пожарной части ПЧ-5 в Старопромысловском районе города Грозного. Размещение датчиков метеорологического мониторинга показано на рис. 2.

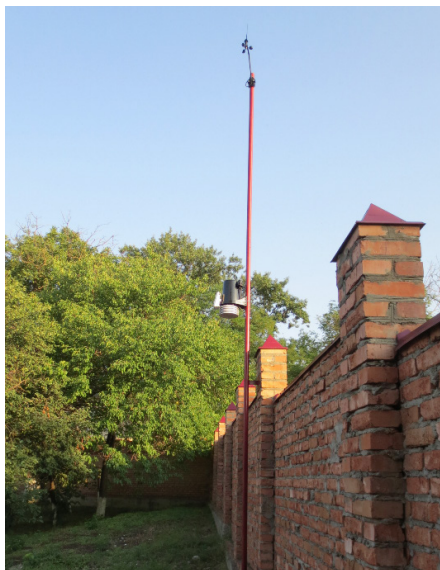


Рис. 2. Размещение датчиков модуля метеорологического мониторинга



Рис. 3. Сейсмоприёмник в защищённом ящике

Модуль контроля сильных движений земли размещён на территории пожарной части ПЧ-5 в Старопромысловском районе города Грозного. Внешний вид сейсмоприёмника в ящике показан ниже, см. рис. 3.

Модуль видеомониторинга размещен на территории посёлка Подгорный в Старопромысловском районе города Грозного. Частью модуля видеомониторинга является стационарная реперная сеть в опытной зоне, развернутая непосредственно на оползнеопасном склоне Сунженского хребта.

В верхней части каждый репер оборудован информационными табличками форматом $\sim 30 \times 40$ см. На реперах нижнего створа нанесена специальная маркировка «МЧС России». Таблички реперов верхнего створа покрашены в белый цвет с контурной рамкой красного цвета. Это обеспечивает максимальную видимость в



Рис. 4. Фрагмент поперечных створов поверхностных реперов

различных погодных и сезонных условиях года (см. рис. 4).

Видеокамера для дистанционного наблюдения за оползнеопасным склоном показана на рис. 5.

ПО (программное обеспечение) кинотеодолитного видеомониторинга обеспечивает наблюдение за обстановкой на оползнеопасном склоне в опытной зоне и определение перемещения поверхностных реперов на оползнеопасном склоне. Интерфейс пользователя ПО видеомониторинга показан на рис. 6.

2. Сочетание параметрического мониторинга и видеомониторинга с применением кинотеодолитного метода

Кинотеодолит – это разновидность теодолита, предназначенная для фиксации траектории объектов, перемещающихся как на земной поверхности, так и в воздухе. Кинотеодолитный метод предусматривает отслеживание траектории путем измерения угловых перемещений линии визирования на объект. Параметрический метод мониторинга и кинотеодолитный видеомониторинг могут применяться отдельно, но именно их сочетание даёт «синергетический» эффект, проявляющийся в своевременном обнаружении активного оползня, заблаговременном принятии мер по защите населения и в конечном итоге – снижении материальных потерь.

Независимое использование кинотеодолитного метода, безусловно, возможно, но скорее относится к сфере геологических наблюдений за оползневым массивом.

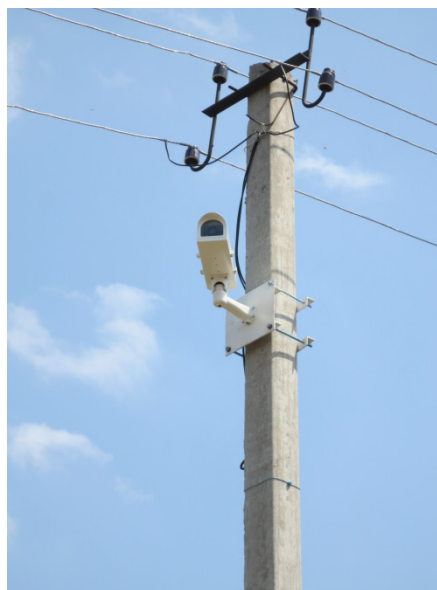


Рис. 5. Видеокамера для дистанционного наблюдения за оползнеопасным склоном

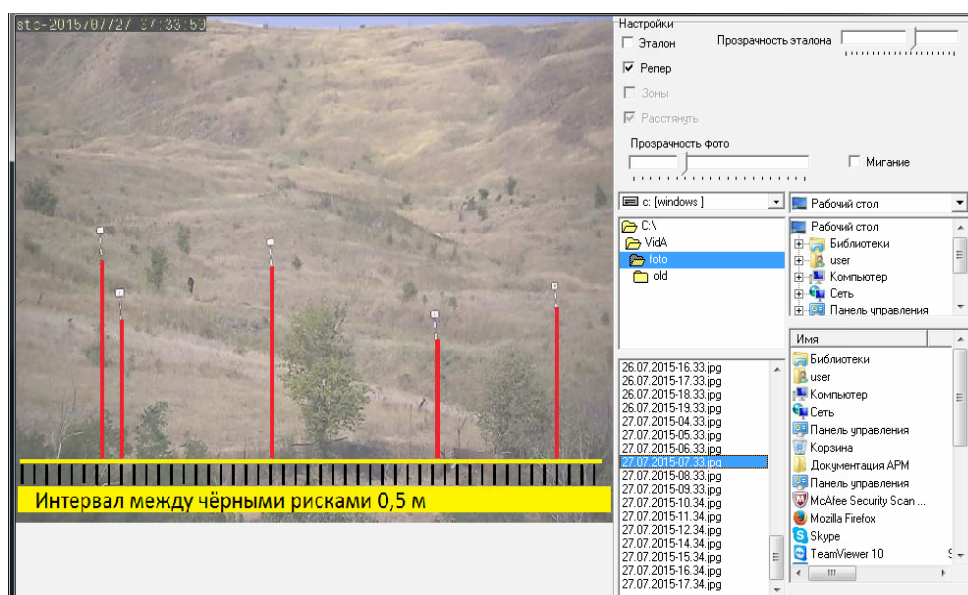


Рис. 6. Интерфейс пользователя ПО видеомониторинга

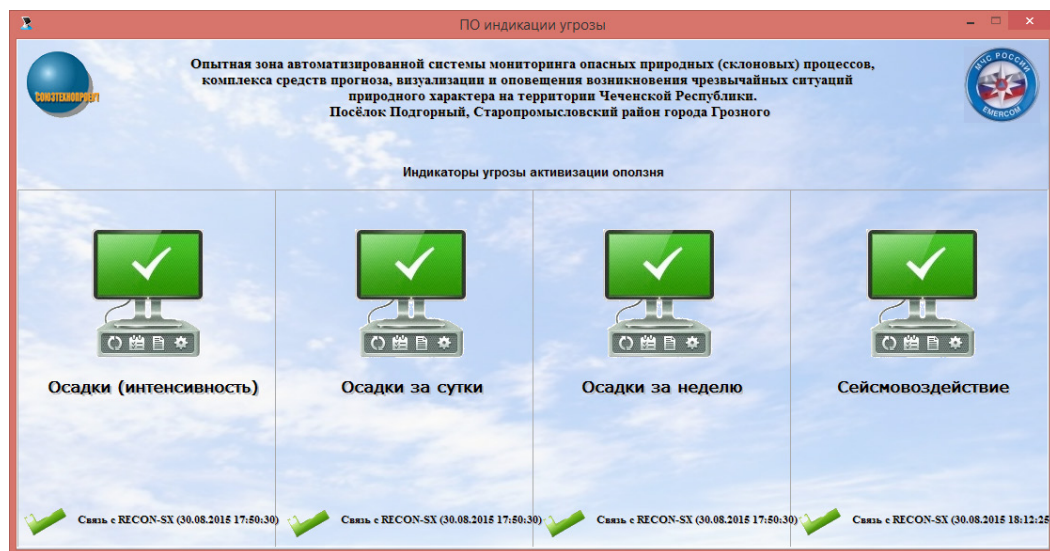


Рис. 7. Внешний вид интерфейса пользователя ПО индикации угрозы

В результате таких наблюдений можно за несколько лет накопить материалы, которые позволят в дальнейшем детально описать поведение оползневого тела в различных метеорологических и геофизических условиях.

Вместе с тем, специалисты дежурной смены ЦУКС (Центр управления в кризисных ситуациях) не имеют ни времени, ни квалификации для проведения геологического мониторинга. В ЦУКС необходимо знать итоговый результат: началась или нет активная фаза смещений оползневого массива. Ответ на этот вопрос можно получить при работе со специальным программным обеспечением, реализующим кинотеодолитный метод наблюдений. А поводом к запуску данного СПО (специальное программное обеспечение) является появление любого из индикаторов угрозы (см. рис. 7).

Таким образом, сочетание параметрического мониторинга и кинотеодолитного метода контроля смещений реализуется в алгоритме действия автоматизированной системы мониторинга опасных природных (склоновых) процессов:

1. Модуль метеорологического мониторинга осуществляет непрерывный контроль параметров, показательных в отношении активизации оползневых процессов.
2. Модуль контроля сильных движений земли непрерывно осуществляет мониторинг интенсивности сейсмических воздействий.
3. СПО индикации угрозы подаёт звуковое и цветное (на экране ЭВМ) оповещение для дежурной смены ЦУКС при поступлении информации об опасных метеорологических и геофизических явлениях, являющихся предвестниками активизации оползня.
4. Получив сигнал об опасном развитии событий, специалисты дежурной смены ЦУКС включают видеомониторинг и оценивают динамику оползневого склона. Для облегчения оценки параметров динамического смещения склона используется кинотеодолитный метод, реализованный в специальном программном обеспечении.
5. По результатам оценки динамики склона принимается решение о мерах по защите населения в опасной зоне.
6. При необходимости, если динамика склона не проявилась, производится расчёт прогноза вероятности возникновения ЧС с помощью СПО прогноза.

Результаты опытной эксплуатации системы. Использование полученных результатов в работе ЦУКС Главного управления МЧС России по Чеченской республике.

За время эксплуатации системы в августе и первой половине сентября 2015 года были получены следующие результаты.

В августе 2015 года было зафиксировано 23 мм осадков, в первой половине сентября – 4 мм.

За время работы модуля контроля сильных движений земли в августе и первой половине сентября 2015 г. было зафиксировано несколько слабых сейсмических воздействий различной природы интенсивностью 1 балл по шкале MSK-64. На рис. 8 показана сейсмограмма (акселерограмма – запись модуля полного вектора ускорения) сейсмического воздействия, вызванного землетрясением магнитудой 4,0, произошедшим 29 августа 2015 г. в 16.43 в 50 км южнее г. Грозного. Как видно из сейсмограммы, максимальное ускорение достигло $0,29 \text{ см/с}^2$, что соответствует 1 баллу шкалы MSK-64.

На рис. 9 показан интерфейс ПО кинотеодолитного метода контроля смещений, на котором показано фото оползнеопасного участка от 11 сентября 2015 г. На фото наложены красные риски-визеры, соответствующие исходному положению реперов на 25 июля 2015 г. Внизу имеется шкала смещений. Направление слева направо на фото соответствует направлению сверху вниз по склону. Как видно из рисунка, поверхностные реперы не смещены вправо относительно рисков-визиров. Следовательно, склон находится в стабильном состоянии. Учитывая небольшое количество осадков, выпавших за рассматриваемый период, это вполне ожидаемый результат.

Таким образом, в течение первых полутора месяцев эксплуатации успешно проведена верификация данных, которые собираются нашей системой мониторинга. К моменту начала сезона выпадения осадков (сентябрь-декабрь) система полностью готова выполнить свою главную задачу – помочь ЦУКС Главного управления МЧС России по Чеченской Республике заблаговременно предупредить возможную ЧС, вызванную оползнем над посёлком Подгорным.

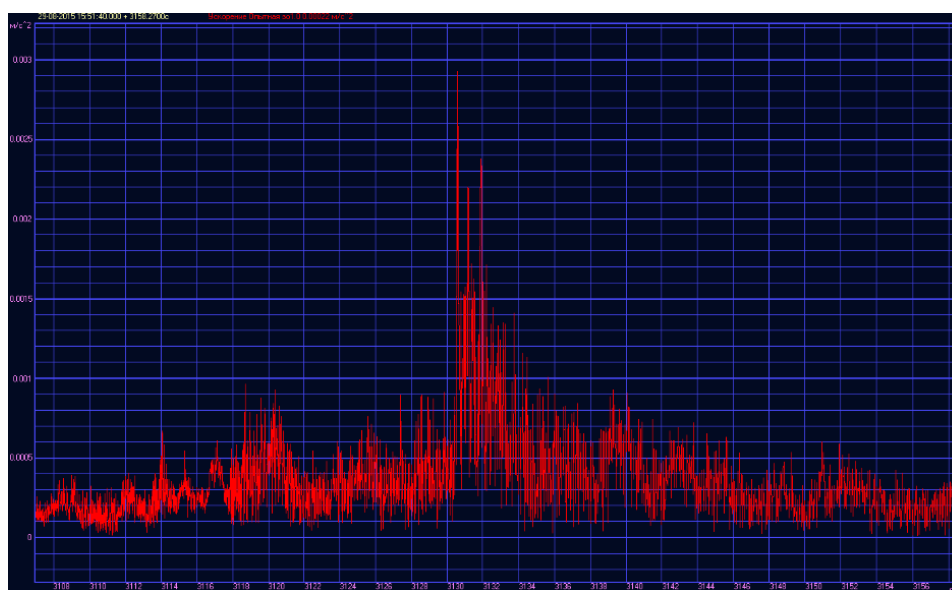


Рис. 8. Акселерограмма сейсмического воздействия, вызванного землетрясением магнитудой 4,0 на удалении 50 км от станции

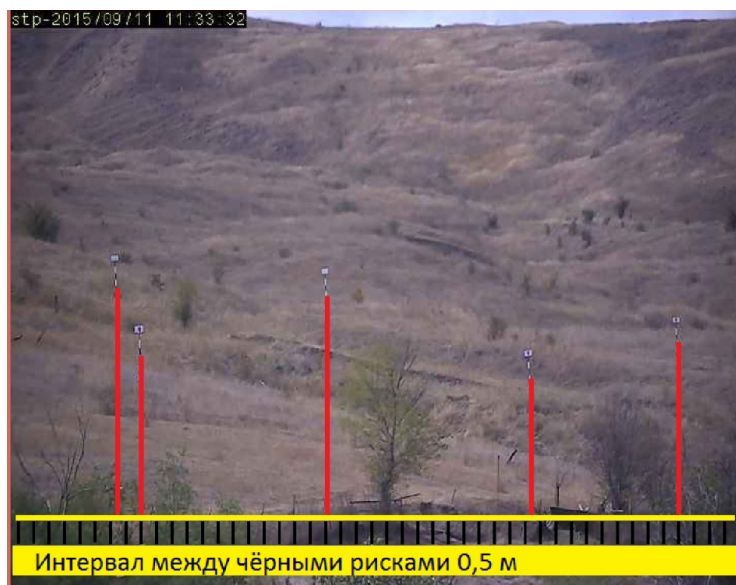


Рис. 9. Фото оползнеопасного склона в интерфейсе ПО кинотеодолитного метода

Литература

1. Оценка воздействия опасных геологических процессов на населенные пункты в Ножай-Юртовском, Шатойском, Итум-Калинском, Надтеречном, Веденском, Грозненском, Старопромысловском и Курчалоевском районах Чеченской Республики. Основные положения. [Отчет] К. Н. Носов, Э. В. Запорожченко. Северо-Кавказский институт по проектированию водохозяйственного и мелиоративного строительства. Пятигорск, 2011

MONITORING AND FORECASTING OF THE LANDSLIDE PROCESSES IN GROZNY

© 2015 E. V. Dmitrieva, I. A. Sergeev, A. A. Stefanov, A. I. Tikhonov

CJSC STC «Soyuztechnoproekt», Russia, 111141, Moscow, Plekhanova str., 7,
e-mail: sergeev@stpro.ru

The article considers the usage of cinetheodolite method for displacement dynamics of the landslide slope observation. In combination with meteorological and geophysical monitoring cinetheodolite method allows identifying in advance the change of landslide into the active state and as the result carrying out the measures on population safety before the phase of catastrophic displacement.

Keywords: slope, landslide, earthquake, precipitation, emergency situations, video monitoring, cinetheodolite, Chechen Republic, Grozny.

УДК 504.064.36

ЕДИНАЯ СИСТЕМА НАБЛЮДЕНИЙ ЗА КАТАСТРОФИЧЕСКИМИ ЯВЛЕНИЯМИ: ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПРОТОКОЛЫ

© 2015 В. Б. Заалишвили, д.ф.-м.н., проф., Д. А. Мельков, к.т.н.

Геофизический институт Владикавказского научного центра РАН, Россия,
362002, г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а, e-mail: cgi_ras@mail.ru.

Рассмотрена проблема создания единой системы мониторинга опасных природно-техногенных процессов и явлений. Предложены различные решения на каждом из информационно-технических уровней организации системы в рамках предложенной многоуровневой модели.

Ключевые слова: опасные процессы, мониторинг, метаданные, большие данные, протокол.

Основой прогнозирования катастрофических процессов являются системы мониторинга опасных природно-техногенных процессов. Создание системы мониторинга на территории Центральной части Северного Кавказа является необходимым условием устойчивого развития региона. Потенциальную опасность представляют вулканы Казбек и Эльбрус. По сравнению с зарубежными странами, где развернута густая сеть систем мониторинга сейсмической активности – Ethna, Azoges, SMART, KNET и др. на территории РФ системы инструментального мониторинга, как правило, представляют собой разрозненные системы с низкой плотностью точек контроля параметров среды. В то же время, получение высококачественной информации создает условия для решения важной фундаментальной проблемы инструментального контроля за состоянием геолого-геофизической среды в режиме реального времени.

Разработка единой системы наблюдений за катастрофическими явлениями и районами их возможного развития является комплексной фундаментальной научной проблемой, системное решение которой, несмотря на значительные успехи в развитии мониторинга отдельных параметров окружающей среды и сложных технических объектов, до сих пор отсутствует. В первую очередь, это связано с разнородностью получаемой и обрабатываемой информации. При этом главная проблема решения такой задачи заключается не столько в различных форматах представляемых исходных данных, как часто это представляется в упрощенной форме, т.к. в настоящее время подобные задачи уверенно решаются путем унификации и конвертирования в единые форматы хранения данных. Ключевая проблема заключается в принципиально различной природе данных геофизических, метеорологических, гидрологических, геодезических, геологических наблюдений, данных дистанционного зондирования Земли, включая данные SAR (Synthetic Aperture Radar Interferometry) [Mikhailov et al., 2013] и др., которые могут быть представлены как в форме временных рядов различной дискретизации так и в формате геоинформаци-

онных (ГИС) проектов и карт (включающих в свою очередь точечные, линейные и площадные объекты), облаков точек и построенных на их основе 3D моделей, фото- и видеоматериалов, служебных записок, отчетов. Для решения данной проблемы необходима разработка средств управления совокупностью (коллекциями, блоками коллекций) разнородных документов, структура которых жестко не определена и может варьироваться в разных документах. В таких системах структура документа задается в нем самом, при этом общая схема данных отсутствует и может свободно дополняться для любого нового типа данных, в том числе, ещё ранее неизвестного самой системе. Таким образом, на начальном этапе формирования подобной системы должны быть заложена возможность ее самоорганизации, каркасом которой являются протоколы коммуникации отдельных частей.

Каждому уровню организации системы будет соответствовать свой протокол, в рамках предложенной модели (рис. 1) выделено 4 уровня системы (в порядке информационной иерархии):

- физический (аппаратно-программный) уровень;
- уровень метаданных (программно-симбиотический по Норману Ли Джонсону);
- научный (исследовательский) уровень;
- административный (правовой) уровень.

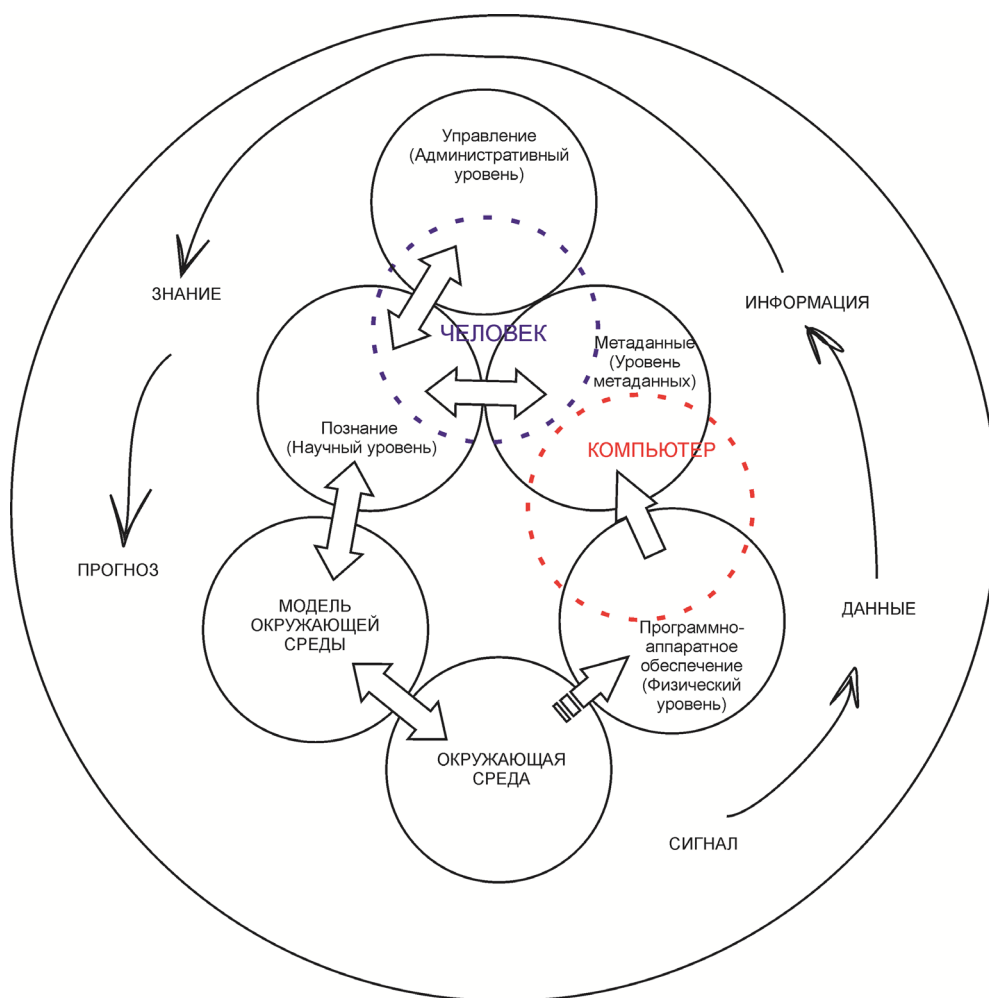


Рис. 1. Модель системы мониторинга окружающей среды

Схему работы системы можно рассматривать в контексте моделей информационной иерархии (модель Дэйва Кэпмбелла и др.) [Weinberger, 2010; Lankow et al., 2012] с нашей интерпретацией для систем мониторинга:

- сигнал;
- данные;
- информация;
- знание;
- прогноз.

В модели учитывается обратная связь – сопоставление полученных моделей с реальной окружающей средой. Таким образом система не является статической не только в части качественного и количественного наращивания объемов данных, но и их интерпретации.

Методической основой работы системы единого мониторинга опасных природно-техногенных процессов является научный уровень. В качестве примера можно рассмотреть район Казбекского вулканического центра, характеризующегося широким спектром развития опасных эндогенных и экзогенных геологических процессов (землетрясения, ледники, оползни, обвалы) [Заалишвили и др., 2014], близостью объектов транспортной инфраструктуры (Военно-Грузинская дорога, газопроводы), объекты энергетики (Зарамагская ГЭС, Эзминская ГЭС, Дзауджикауская ГЭС, Гизельдонская ГЭС) урбанизированной территории (г. Владикавказ). Указанный район характеризуется наибольшей плотностью сетей мониторинга – Кармадонским параметрическим полигоном (включающем сейсмологический, гравиметрический, магнитометрический мониторинг), Владикавказским прогнозным (геодезическим) полигоном, метеорологическими и геологическими наблюдениями [Заалишвили и др., 2013; Певнев и др., 2014]. Локальный характер разнообразных геолого-природно-климатических зон имеющейся на территории Северной Осетии позволяет использовать обозначенную территорию в качестве «природной лаборатории» для решения с минимальными затратами целого ряда задач, с возможностью последующего масштабирования результатов на территорию Северного Кавказа.

Для обеспечения вулканической, сейсмической, гляциологической безопасности населения необходимо осуществлять непрерывные сейсмические и геодинимические наблюдения с использованием, как региональной сети сейсмических станций, так и системы локальных сетей сейсмодеформационного мониторинга. Использование сейсмического мониторинга обуславливается высокой чувствительностью к вулкано- и сейсмодеформационным процессам в земной коре, высокоточным определением координат эпицентров и глубин очагов землетрясений, возможностью картирования потенциальных очагов активизации и одновременно объемного (сейсмотомографического) моделирования геосреды по скоростным и энергетическим характеристикам сейсмических волн, тем самым формируя важный источник информации для исследования глубинного строения Земли.

Обеспечивая важной фактической информацией о поведении слабых землетрясений, локальная сейсмическая сеть становится незаменимым инструментом при прогнозе сильных землетрясений. Кроме того, сейсмический мониторинг позволяет отслеживать одновременно вулканическую активность и процессы, связанные с механическим воздействием на окружающую среду – обвалы массивов горных пород, сход ледников и др.

Характеристики современных движений и деформаций являются одними из основных при исследовании развития геодинамических процессов геологической среды.

Заключение

Создание единой системы наблюдений за катастрофическими явлениями и районами их возможного развития возможно в форме информационной среды взаимодействия разрозненных систем мониторинга, как единой инфраструктуры технологий и институциональных механизмов регулирования.

Реализация состоит в решении четырех основных задач, являющихся одновременно основными структурными уровнями и протоколами организации системы – физическим (аппаратно-программным), научным (исследовательским), уровнем метаданных (программно-симбиотическим по Норману Ли Джонсону) и административным (правовым) уровнями:

- Разработка и совершенствование аппаратной базы мониторинга, включая технические средства получения, передачи и обработки информации
- Разработка научных основ комплексного мониторинга опасных природно-техногенных процессов на основе ряда параметров контроля окружающей среды.
- Разработка инфраструктуры и средств массово-параллельной обработки неопределённо структурированных данных (метаданных).
- Разработка административных протоколов обмена данными и соответствующей нормативно-правовой базы.

Подобная система будет служить основой для извлечения новых знаний (Data mining) об опасных природно-техногенных процессах и явлениях.

Эффективное объединение административного, научного и метапротоколов должно обеспечить стратегическую работу системы в форме системы принятия решений с целью предупреждения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

Литература

1. Заалишвили В.Б., Невская Н.И., Невский Л.Н., Мельков Д.А., Дзеранов Б.В., Кануков А.С., Шепелев В.Д. Мониторинг опасных природных и техногенных процессов на территории РСО-Алания // Геология и геофизика Юга России. 2013. №1. С. 17–27.
2. Заалишвили В.Б., Мельков Д.А., Дзеранов Б.В., Кануков А.С., Габарев А.Ф., Шепелев В.Д. Сход каменно-ледовой лавины в районе ледника Девдорак 17 мая 2014 года по инструментальным данным // Геология и геофизика Юга России. 2014. № 4. С. 122–128.
3. Певнев А.К., Заалишвили В.Б., Мельков Д.А. О модернизации геодезических исследований на Владикавказском геодинамическом прогнозном полигоне // Геология и геофизика Юга России. 2014. Т. 2. №4. С. 84–90.
4. Lankow, J. and Ritchie, J. and Crooks, R. Chapter 7. Data Visualization Interfaces // Infographics: The Power of Visual Storytelling. – Wiley, 2012. – 264 p
5. Mikhailov V., Kiseleva E., Smolyaninova E., Golubev V., Dmitriev P., Isaev Yu., Dorokhin K., Hooper A., Samiei-Esfahany S., Hanssen R. PS-INSAR monitoring of landslides in the Great Caucasus, Russia, using ENVISAT, ALOS and TerraSAR-X SAR

images // Abstract of ESA Living Planet Symposium, 9–13 September, 2013, Edinburgh, UK. www.livingplanet2013.org/abstracts/848807.htm

6. Weinberger D. The Problem with the Data-Information-Knowledge-Wisdom Hierarchy // Harvard Business Review. – 2010.

UNIFIED CATASTROPHIC EVENTS OBSERVATION SYSTEM: INFORMATION PROTOCOLS

**© 2015 V. B. Zaalishvili, Sc. Doctor (Phys.-Math.), prof., D. A. Melkov, Sc.
Candidate (Tech.)**

Geophysical Institute of VSC RAS, Russia, 362002, Vladikavkaz, 93a Markova Str.,
e-mail: cgi_ras@mail.ru.

The problem of creating a unified system of monitoring of hazardous natural and anthropogenic processes and regions of their possible propagation is considered. Various solutions are proposed to each of the information technology system levels of the organization in the framework of the proposed multi-level model.

Keywords: dangerous processes, monitoring, metadata, big data, protocol.

УДК 504.064.36

ВОЗМОЖНОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СОЗДАНИИ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА КАТАСТРОФИЧЕСКИМИ ЯВЛЕНИЯМИ И РАЙОНАМИ ИХ ВОЗМОЖНОГО РАЗВИТИЯ

**© 2015 В. Б. Заалишвили, д.ф.-м.н., проф., Д. А. Мельков, к.т.н.,
А. С. Кануков, к.т.н.**

Геофизический институт Владикавказского научного центра РАН, Россия,
362002, г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а, e-mail: cgi_ras@mail.ru.

Рассмотрены современные компьютерные технологии хранения и обработки больших массивов данных в развитии сетей комплексного мониторинга опасных природно-техногенных процессов и явлений.

Ключевые слова: опасные процессы, мониторинг, метаданные, большие данные, геоинформационные системы, телеметрия.

Основным назначением локальной сети «Кармадонский параметрический полигон» является изучение и прогноз опасных геологических процессов в виде эндогенных (вулканическая деятельность, землетрясения и т.д.) и экзогенных процессов (сход лавин, ледников, оползней и т.д.). Таким образом, работа сети предполагает не только использование стандартных процедур определения параметров землетрясений, но и обработку накопленных больших массивов данных. После модернизации сети в 2006 году была значительно увеличена продолжительность регистрации записей за счет применения флеш-карт большой емкости, увеличена частота дискретизации и налажена служба точного времени за счет использования GPS. 2012 г. при поддержке ГУ МЧС РФ по РСО-А в район ложа ледника Колка было заброшено оборудование и позднее группой альпинистов под руководством О. Н. Рыжанова на высоте 2970 метров над уровнем моря выполнен монтаж и запуск сейсмической станции, которая стала функционировать, таким образом, 19 мая 2012 г. Станция работает в непрерывном режиме, что также значительно увеличило поток получаемых и анализируемых данных. Следующий этап развития сети включает совершенствование технологий сбора, обработки и визуализации больших массивов данных.

Вопросы передачи информации

Следующим этапом стала разработка системы телеметрической передачи данных. Регистратор «Дельта-03» поддерживает возможность обмена информацией по протоколу TCP/IP, что позволяет непосредственно включать регистратор в локальные сети Ethernet. Для станции Колка был выбран спутниковый канал связи на основе станций iDirect, используемых для организации передачи данных по технологии Ethernet/IP через спутниковые каналы связи в труднодоступных районах.

Сейсмологическая телеметрическая сеть, создаваемая на базе РСС «Дельта-03» строится по радиальной схеме, в центре которой находится центральный пункт сбора информации (ЦПС), построенный на базе персонального компьютера (рис. 1)

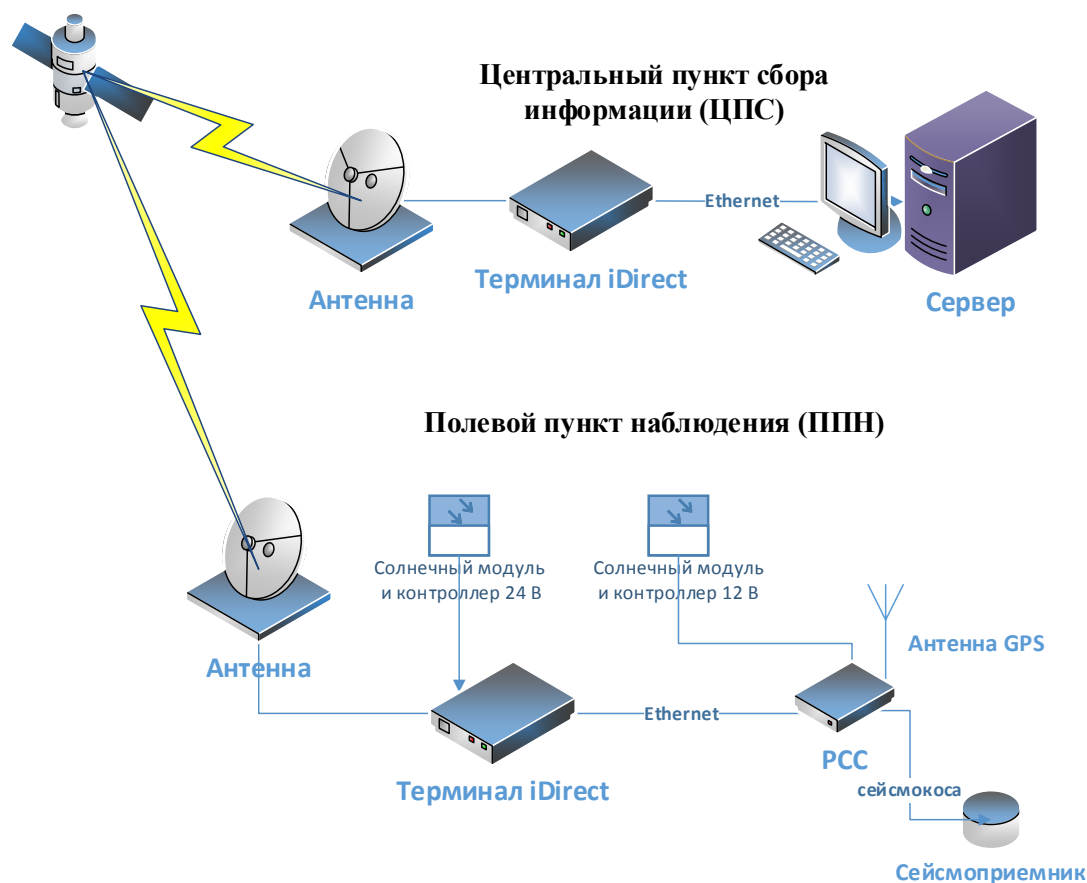


Рис. 1. Схема сейсмологической телеметрической сети Кармадонского параметрического полигона.

[Заалишвили, Мельков, 2013]. С этого пункта оператор имеет доступ к любому полевому пункту наблюдения (ППН). Оператор может настроить или поверить точное время, изменить режимы работы регистратора сейсмических сигналов «Дельта-03», скопировать накопленную сейсмологическую информацию или подготовить носитель (Flash диск или RAM диск) к приему новой сейсмологической информации дистанционно. При подключении к линии провайдера следует учесть, что протокол аутентификации регистратором не используется [Сеть..., 2012].

Разработка геоинформационной системы

С развитием современных технологий настольные ГИС системы так же служат своей первоначальной цели, но они могут быть помещены в облако, и стать Web-доступными источниками управляемых данных и веб-сервисов. Смартфоны и другие носимые мобильные устройства открывают возможности создания мобильных приложений. Это дает возможность использования мобильных устройств для сбора различных данных мониторинга в режиме, приближенном к реальному времени.

В настоящее время общие принципы и стандарты в области разработки программного обеспечения с использованием геоинформационных технологий, разрабатываются и декларируются международной некоммерческой организацией Open GIS consortium (OGC) [OpenGIS® Web Map...]. На сегодняшний день в OGS представлены наиболее крупные коммерческие, академические и государственные

организации занимающиеся разработкой или исследованиями в области развития и разработки геоинформационного или IT ПО (в том числе такие крупнейшие корпорации как Boeing, Oracle, ESRI, MapInfo, Intergraph, Google и многие другие. Во многом деятельность OGC в области геоинформационных систем можно сравнить с деятельностью W3C по стандартизации процессов и технологий во всемирной сети. Так, одной из первых разработок OGC были стандарты созданию GML – Geography Markup Language – языка группы XML, предназначенного для описания географически привязанных объектов. GML может быть использован и как язык моделирования, и как язык передачи пространственной информации в сети.

В качестве среды для создания картографического web-сервиса наиболее функциональными из открытых систем являются Mapserver и Geoserver. На сегодняшний день MapServer является одной из самых популярных сред создания картографических web-сервисов с открытым кодом. Исходно, MapServer разрабатывался Университетом Миннесоты совместно с Департаментом Природных Ресурсов Штата Миннесота и NASA, а в настоящее время поддерживается как один из проектов ассоциации OSGeo. Возможность работы MapServer практически на любых платформах (в том числе Windows, Linux, Mac OS, Solaris), широчайшие функциональные возможности, легкость интеграции с различными СУБД и открытость кодов предопределила популярность программы. Строго говоря, MapServer позиционируется не как конечное приложение, а как среда разработки (development environment/platform).

GeoServer является комбинированной программной платформой, объединяющей в себе сервер приложений и сервер веб-приложений, т.е. один продукт позволяет опубликовать сервисы доступа к пространственным данным по унифицированным спецификациям OGC и представить их в виде интерактивных карт.

Все компоненты продукта являются свободно распространяемыми и с открытым исходным кодом. Сервером поддерживаются следующие спецификации OGC: WMS, WFS, WCS, WFS-T (WFS-Transaction). Поддержка спецификации WFS и WFS-T позволяет не только использовать данные для визуализации, но и редактировать полученные данные с последующим автоматическим обновлением исходной информации на сервере. Среди поддерживаемых форматов значатся: JPEG, PNG, SVG, KML/KMZ, GML, PDF, ESRI Shapefile и другие.

Отличающей особенностью GeoServer от ряда других (MapServer или FeatureServer) является наличие графической системы управления файлами настроек и описания данных для проектов GeoServer. Эта система реализована в виде веб-интерфейса и предоставляет пользователю возможность интерактивного создания и изменения разрабатываемого картографического ресурса.

Для задания стилей оформления в GeoServer используется язык описания Styled Layer Descriptor (SLD) [Styled Layer Descriptor...]. Изначально, он создавался для работы с сервисами WMS. Можно подготовить свой файл стилей на языке SLD и передать их чужому серверу WMS, получив карту оформленную так, как нужно пользователю.

Язык SLD – это признанный стандарт, к полной реализации которого стремятся многие программы, включая сам MapServer, хотя в нём и реализована более простая схема создания стилей.

Наиболее функциональной системой визуализации геопространственных данных и включения их в web-интерфейс является библиотека OpenLayers [Hazard, 2011]. Используя данную систему как средство визуализации сервера геопростран-

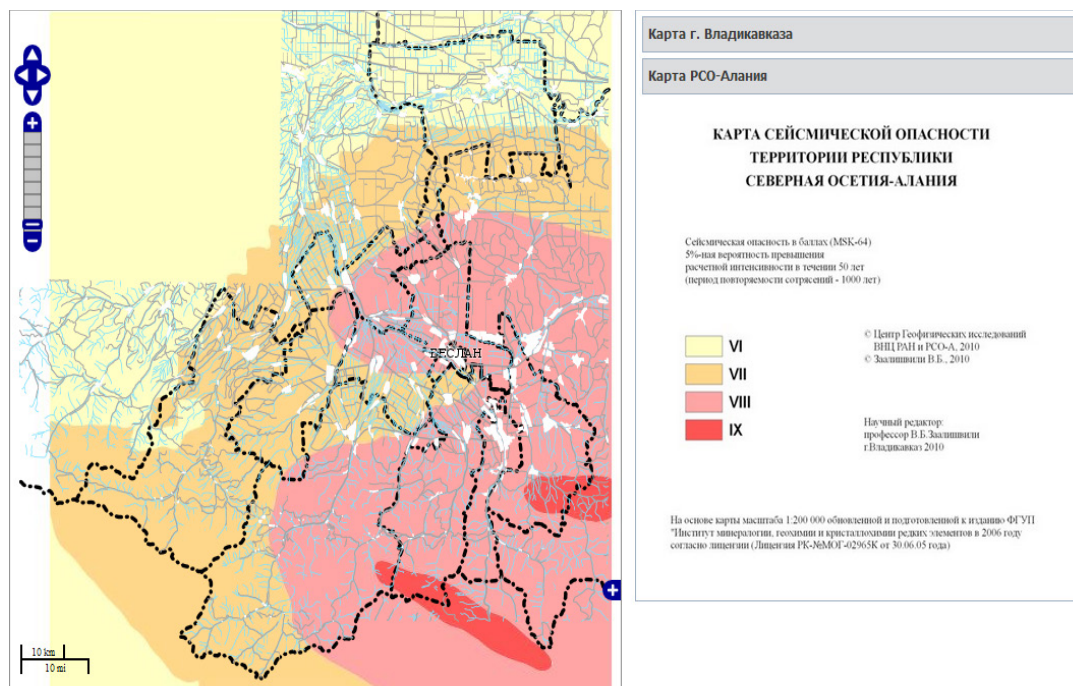


Рис. 2. Геоинформационная система опасных природных процессов РСО-Алания.

ственных данных Geoserver, нами была разработана геоинформационная система Республики Северная Осетия-Алания (рис. 2) [Заалишвили и др., 2012].

Библиотека OpenLayers позволяет очень быстро и легко создать web-интерфейс для отображения картографических материалов, представленных в различных форматах и расположенных на различных серверах. Благодаря OpenLayers разработчик имеет возможность создать, к примеру, собственную карту, включающую слои, предоставляемые WMS (и WFS) серверами, такими как Mapserver, ArcIMS или Geoserver, и данными картографических сервисов Google. Библиотека является разработкой с открытым исходным кодом и разрабатывается при спонсорской поддержке проекта MetaCarta, который использует OpenLayers в своих разработках.

Большие данные

Большие данные (Big Data) серия подходов, инструментов и методов обработки структурированных и неструктурированных данных огромных объемов и значительного многообразия для получения воспринимаемых человеком результатов, эффективных в условиях непрерывного прироста, распределения по многочисленным узлам вычислительной сети, альтернативные традиционным системам управления базами данных [Черняк, 2011; Clifford A. Lynch, 2008].

В данную серию включают средства массово-параллельной обработки неопределённо структурированных данных, прежде всего, решениями категории NoSQL, алгоритмами MapReduce, программными каркасами и библиотеками проекта Hadoop.

Hadoop – проект фонда Apache Software Foundation, свободно распространяемый набор утилит, библиотек и фреймворк для разработки и выполнения распределённых программ, работающих на кластерах из сотен и тысяч узлов. Используется для реализации поисковых и контекстных механизмов многих высоконагруженных веб-сайтов, в том числе, для Yahoo! и Facebook. Разработан на Java в рамках вычислительной парадигмы MapReduce, согласно которой приложение разделяется

на большое количество одинаковых элементарных заданий, выполнимых на узлах кластера и естественным образом сводимых в конечный результат.

NoSQL (англ. not only SQL, не только SQL), в информатике – термин, обозначающий ряд подходов, направленных на реализацию хранилищ баз данных, имеющих существенные отличия от моделей, используемых в традиционных реляционных СУБД с доступом к данным средствами языка SQL. Применяется к базам данных, в которых делается попытка решить проблемы масштабируемости (англ. scalability) и доступности (англ. availability) за счёт атомарности (англ. atomicity) и согласованности данных (англ. consistency). Одной из наиболее мощных реализаций NoSQL является Couchbase Server.

Массово-параллельная архитектура (МРР)

Главным преимуществом систем с отдельной памятью является хорошая масштабируемость: в отличие от систем симметричного мультипроцессорирования (SMP), в машинах с отдельной памятью каждый процессор имеет доступ только к своей локальной памяти, в связи с чем не возникает необходимости в потактовой синхронизации процессоров. Наиболее перспективной представляется смешанная архитектура, при которой система в целом функционирует как МРР с решением отдельных задач на SMP системах с буферизацией части потоков данных, поступающих от главной системы.

Заключение

Задача создания единой системы наблюдений за катастрофическими явлениями и районами их возможного развития состоит в создании информационной среды взаимодействия разрозненных в настоящее время систем мониторинга как единой инфраструктуры технологий и институциональных механизмов регулирования.

В такой постановке проблема относится к области системного анализа, «Больших данных» (Big Data) и «Извлечения данных» (Data Mining) [Piatetsky-Shapiro, 1991; Fayyad et al., 1996] и должна решаться путем использования соответствующих методов.

Создание распределенной среды хранения и обмена информацией является наиболее мягким механизмом интегрального взаимодействия, при котором нет единого сервера для хранения данных и, соответственно, головного ведомства. Доступ к данным регулируется каждым участником системы на основе соглашений. Таким образом, одной из ключевых задач является разработка нормативно-правовой базы.

Подобная система будет служить основой для извлечения новых знаний (Data mining) об опасных природно-техногенных процессах и явлениях, систем поддержки принятия решений с целью предупреждения чрезвычайных ситуаций, что, в свою очередь, окажет влияние на обеспечение безопасности населения.

Литература

1. Заалишвили В.Б., Мельков Д.А., Кануков А.С. Информационная система обеспечения градостроительной деятельности на основе информационной базы данных сейсмичности и сейсмического риска. // Информатизация и связь. ISSN 2078–8320 – №5. 2012 С. 14–18.

2. Заалишвили В.Б., Мельков Д.А. Организация сейсмологических наблюдений в верховьях реки Геналдон и Кармадонском ущелье с использованием спутниковой телеметрической системы передачи информации // Геология и геофизика Юга России. 2013. № 4. С. 44–50.

3. Заалишвили В.Б., Мельков Д.А., Дзеранов Б.В., Кануков А.С., Габарев А.Ф., Шепелев В.Д. Сход каменно-ледовой лавины в районе ледника Девдорак 17 мая 2014 года по инструментальным данным // Геология и геофизика Юга России. 2014. № 4. С. 122–128.
4. Указ Президента РФ от 7 июля 2011 года № 899
5. Черняк Л. Большие Данные – новая теория и практика // Открытые системы. СУБД. М.: Открытые системы, 2011. № 10.
6. Clifford A. Lynch, «Big data: How do your data grow?» Nature, vol. 455, no. 7209 (September 3, 2008).
7. Erik Hazzard. OpenLayers 2.10. Beginner's Guide. PACKT Publishing. 2011.
8. Fayyad U., Piatetsky-Shapiro G., Smyth P. From Data Mining to Knowledge Discovery in Databases AI Magazine 17 (3): Fall 1996, 37–54.
9. Mikhailov V., Kiseleva E., Smolyaninova E., Golubev V., Dmitriev P., Isaev Yu., Dorokhin K., Hooper A., Samiei-Esfahany S., Hanssen R. PS-INSAR monitoring of landslides in the Great Caucasus, Russia, using ENVISAT, ALOS and TerraSAR-X SAR images // Abstract of ESA Living Planet Symposium, 9–13 September, 2013, Edinburgh, UK. www.livingplanet2013.org/abstracts/848807.htm
10. OpenGIS® Web Map Server Implementation Specification. Version: 1.3.0. OpenGIS® Implementation Specification. OGC® 06–042. Ed. Jeff de la Beaujardiere. Date: 2006–03–15. 2006. 85 p. URL: http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=14416 (дата обращения: 7.07.15 г).
11. Piatetsky-Shapiro G. Knowledge Discovery in Real Databases: A Report on the IJCAI-89 Workshop. 1991. AI Magazine 11 (5): 68–70.
12. 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 (дата обращения: 7.06.15 г).

CAPABILITIES OF MODERN TECHNOLOGIES IN DEVELOPMENT OF TELEMETRIC OBSERVATION SYSTEMS FOR CATASTROPHIC EVENTS AND REGIONS OF THEIR POSSIBLE SPREADING

**© 2015 V. B. Zaalishvili, Sc. Doctor (Phys.-Math.), prof., D. A. Melkov, Sc.
Candidate (Tech.), A. S. Kanukov, Sc. Candidate (Tech.)**

GPI VSC RAS, Russia, 362002, Vladikavkaz, Markov str., 93 a, e-mail: cgi_ras@mail.ru.

Issues of creating unified system of monitoring of hazardous natural and anthropogenic processes and phenomena on the basis of modern computer technologies of storage and processing of large data sets are considered.

Key words: hazardous processes, monitoring, metadata, big data, geographic information systems, telemetry

УДК 550.34.094

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКОГО И ГГД-МОНИТОРИНГА «ГГД-КОМПЛЕКС»

© 2015 Д. Н. Забирченко

ОАО «Кавказгеолсъемка», Россия, 357600, Ставропольский край, г. Ессентуки,
ул. Кисловодская, д. 203, kavkazgs@rusgeology.ru;
Геофизический институт ВНЦ РАН, Россия, 362002, г. Владикавказ, ул. Маркова,
93а, e-mail: cgi_ras@mail.ru

На основании длительного опыта анализа многолетних рядов наблюдений за ГГД-полем, газогидрохимическими и геофизическими полями по региональной сети регистраторов, расположенных от Черного до Каспийского моря в пределах сейсмоопасных районов Северо-Кавказского региона, разработана, внедрена в эксплуатацию и постоянно модифицируется Информационная система для комплексного анализа данных мониторинга опасных эндогенных геологических процессов (ИС «ГГД-Комплекс»).

Ключевые слова: Информационная система, комплексный анализ, ГГД-поле, ЕИЭМПЗ, вариации геофизических полей, мониторинг, эндогенные геологические процессы, геологическая среда, Северо-Кавказский регион, сейсмичность, землетрясение.

В ходе проведения работ по мониторингу опасных эндогенных процессов на территории сейсмоопасных районов Северного Кавказа, который проводится уже более 20 лет и включает в себя наблюдения за гидрогеодеформационным (ГГД) полем, газогидрохимическими полями, а также геофизическими полями (ЕИЭМПЗ) и сейсмической активностью, перед различными исполнителями неоднократно ставилась задача разработки методики комплексного анализа наблюдаемых параметров. Однако, технологическая проблема комплексного анализа данных до последнего времени решена не была.

Начиная с 2009 года автором разрабатывается и успешно эксплуатируется *информационная система комплексного анализа данных мониторинга ГГД-поля и других геофизических полей «ГГД-Комплекс»* [Забирченко, Мельков, 2009].

Полученный программный комплекс включает в себя все технологические этапы сбора, подготовки, обработки первичных данных, построения комплексных графиков и диаграмм для последующего анализа, построения карт-схем ПНГС, приведения баз данных в установленные форматы для передачи Заказчику, подготовки графических материалов для регламентной отчетной продукции. Программный аналитический комплекс позволяет:

- осуществлять текущую оперативную оценку сейсмогеодинамического состояния геологической среды Северо-Кавказского региона по данным мониторинга;
- отдельно и комплексно визуализировать графики любых из имеющихся рядов данных, в том числе визуально анализировать ряды наблюдений различных параметров, совмещенных в одной координатной плоскости с единой осью времени, в сопоставлении с данными по сейсмичности региона;
- использовать единую базу данных, в которой содержатся ряды наблюдаемых параметров (как первичные ряды, так и пространственно привязанные) по всем

пунктам сети ГГД-мониторинга (УПВ, Ратм., температура воды и воздуха, электропроводность), пунктам газогидрохимического мониторинга (гелий), геофизического и сейсмического мониторинга (записи сейсмостанций «Дельта-Геон», ряды данных регистраторов ЭМИ);

– мощный математический аппарат обеспечивает построение любых производных графиков, выделение трендов наблюдаемых параметров, построение аппроксимаций, логарифмических масштабов, в том числе для анализа данных ЕИЭМПЗ позволяет выделять аномалии методами скользящего среднего с изменяемой шириной окна, применять селективные фильтры с изменяемым порогом для исключения помех, единичных пиков и грозových краткосрочных аномалий [Забирченко, 2014];

– учитывать влияние глобальных периодических процессов наблюдаемых параметров и сейсмичности;

– осуществлять автоматизированную подготовку данных к процессу построения карт напряженности геологической среды (ГГД-полей) по данным комплексного анализа;

– отображать в реальном времени и за прошедшие периоды сейсмичность Северо-Кавказского региона в программе Google Earth через сеть Интернет для оперативного анализа и удобного выхода на подробные сведения об интересующем пользователя сейсмическом событии;

– проводить построение и анализ карт ПНГС и сейсмичности в интегрированных ГИС-проектах, в том числе с применением карт: тектонической, кристаллического фундамента, аномального магнитного поля, гравитационных аномалий, неотектоники и пр.

Программный аналитический комплекс разрабатывался в лицензионной объектно-ориентированной среде Delphi 7 с использованием интеграции с пакетами программ MS Office и ArcView10. За последние два года, на основании опыта первичной эксплуатации, проведена значительная модернизация ИС, включающая:

1) Доработку структуры баз данных для хранения первичной информации по наблюдаемым параметрам.

2) Доработку интерфейса пользователя.

3) Доработку и отладку процедуры фильтрации каталогов сейсмичности (выборка за указанный временной интервал, выборка по указанному радиусу от заданной точки, выборка событий по радиусу влияния в зависимости от магнитуды и расстояния от заданной точки, что позволяет отобрать события, подготовка которых могла повлиять на реакцию конкретного пункта наблюдений).

4) Внедрение процедуры автоматического пополнения каталогов сейсмичности через Интернет, а также отладка связи каталогов сейсмичности ГС РАН и EMSC с визуализацией в GoogleEarth и интегрированных ГИС-проектах для оперативного анализа сейсмической обстановки в регионе.

5) Внедрение и отладку процедуры автоматического импорта данных, получаемых на серверы телеметрии от измерительных комплексов «Logger-LPC» и «Кедр v2».

6) Отладку процедуры автоматического отображения геодинамики на цифровой карте в интегрированном ГИС проекте (сейсмичность, ГГД-поля, среднемесячные тренды УПВ и пр.). Дополнительно, для построения карт напряженности геологической среды осуществлено внедрение процедуры автоматического вычисления значений приведенных амплитуд изменения параметров ГГД-поля и произведена автоматизация выборки и подготовки данных для построения ПНГС в ГИС-системах на определенную дату.

7) Доработку процедуры обработки данных ЕИЭМПЗ, которая позволяет:

- исключить влияние помех и выделить только характерные аномалии, а также фоновые суточные вариации;
- сопоставить кривые по разным частотным каналам;
- вычислить коэффициент нормирования по моде или медиане;
- построить совмещенные нормированные графики разноамплитудных вариаций по всем станциям сети;
- определить длительность аномалии и измерить любые временные интервалы на графике, установив маркеры для наглядности анализа.

8) Внедрение механизма отдельной настройки параметров программы и сохранения построенных комплексных графиков для каждого пользователя при работе с единой базой данных, находящейся на сетевом сервере и механизма разделения пользователей при выполнении выборки по каталогам сейсмичности, связанных с ГИС-проектом.

9) Внедрение процедур сохранения и последующего редактирования комплексных графиков отдельно для каждого пользователя.

В последние годы при модернизации программного комплекса основное внимание уделялось максимальному повышению оперативности ежедневной обработки данных, обеспечению возможности своевременного обнаружения аномального поведения наблюдаемых параметров и подготовки оперативных сообщений в инстанции, регламентированные соответствующими нормативными документами.

В процессе отработана следующая **методика оперативного комплексного анализа данных**:

Обработка ежедневно поступающих данных ГГД-мониторинга. Оперативный визуальный анализ, выявление аномального поведения наблюдаемых параметров, как среднесрочного и краткосрочного предвестника. Выделение нехарактерных точек смены тренда, синфазности УПВ с атмосферным давлением, нарушения реакции на приливные изменения, учет многолетних сезонных изменений и пр.

Обработка ежедневно поступающих данных регистраторов ЭМИ. Построение оперативного сводного графика вариаций ЭМИ по всем станциям. Анализ грозовой активности, исключение помех селективным фильтром, выделение значимых аномалий длительностью от нескольких часов до нескольких суток. Сопоставление графиков с текущей сейсмичностью, анализ и прогноз развития текущей аномалии с помощью экстраполяции и шаблонов характерных форм аномалий.

Составление (при необходимости) оперативного сообщения об аномальных изменениях наблюдаемых параметров либо об осязаемом землетрясении.

Таким образом, интервал от начала обработки данных до принятия решения о подготовке оперативного сообщения в случае обнаружения аномального поведения параметров занимает минимальное время. С учетом составления текста сообщения – 2–3 часа, при условии своевременного поступления данных телеметрии. Как правило, при этом данные среднесрочных предвестников (ГГД) за предыдущие дни уже обработаны и могут содержать аномальные изменения, а данные наиболее краткосрочного предвестника – ЭМИ – обрабатываются в течение нескольких минут при наличии данных.

В частности, вышеописанная методика подготовки оперативных сообщений о геодинамическом состоянии недр успешно использовалась в период подготовки и проведения XXII Зимних Олимпийских и XI Зимних Паралимпийских игр в Сочи

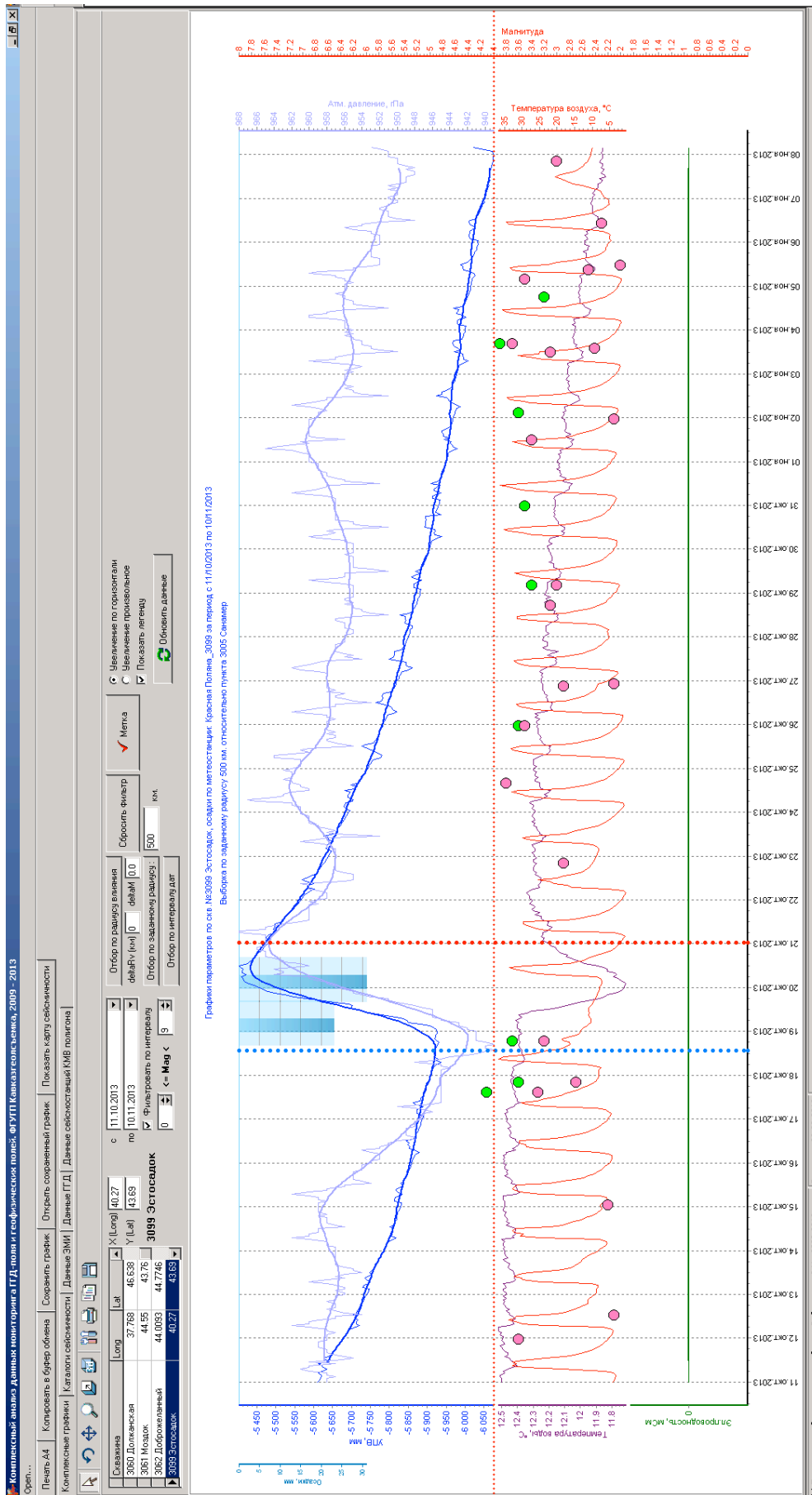


Рис. 1. Окно построения комплексного графика данных ГГД и сейсмичности.

в 2014 году, что было отмечено почетными грамотами Министерства Природных ресурсов России, а также памятными медалями «Сочи-2014».

Вернемся к краткому описанию возможностей информационной системы. На рис. 1. показано основное окно комплексного анализа ГГД-данных. Обширный набор инструментов позволяет отобразить графики рядов наблюдений по пяти параметрам для выбранной ГГД-скважины, наложив их на данные сейсмических каталогов (в системе ведется три каталога сейсмичности, базирующихся на данных разных источников). Для повышения наглядности визуального определения аномального или фоновое поведения каждого ряда, в дополнение к графику наблюденных значений на него наложена автоматически вычисляемая сглаженная по 24 точкам кривая, иллюстрирующая тренд без учета суточных вариаций. Для УПВ и давления данный способ позволяет оценить фазовое соотношение изменений.

В случае нарушения нормального противофазного хода кривых при анализе отмечается аномалия. Также для уточнения условий изменения УПВ на график вынесены значения количества выпавших осадков за каждые 4 часа и суммарное суточное значение.

В случае если скважина реагирует на осадки увеличением УПВ, понижением температуры воды, снижением электропроводности – однозначно делается вывод о том, что аномалия не имеет эндогенной природы.

Инструменты фильтрации данных, выводимых на графики, позволяют отфильтровать ряды за определенный временной интервал, причем при быстром переходе по списку пунктов наблюдения (вверху слева) графики перестраиваются динамически, увеличивая шансы отслеживания синхронных или подобных друг другу аномалий по разным пунктам в один период времени. Маркеры интервала (красная и синяя пунктирные направляющие) помогают при определении динамики миграции деформационных волн (при перемещении подобных аномалий во времени и пространстве).

На рис.2 показано окно обработки данных регистраторов ЭМИ. Набор инструментов позволяет вывести на комплексный график ряд данных по выбранному пункту, по заданной частоте и порогу, выбрать ширину окна сглаживания, применить селективный фильтр для устранения помех, нормировать ряд на текущее значение фона, сопоставить с графиком солнечной активности, измерить с помощью маркеров длительность аномалии и интервал до сейсмического события. Набор инструментов постоянно дорабатывался.

На рис. 3. показано окно обработки и анализа пространственного расположения сейсмических событий, отобранных фильтрами пользователя. Схематическая карта региона содержит элементы топоосновы и схему глубинного строения. На карту вынесена динамически связанная с графиками выборка сейсмических событий. При выборе определенного события на любом из графиков, соответствующая точка подсвечивается на карте. Дополнительно выводится окно с параметрами землетрясения. Для выбранного события автоматически рассчитываются эпицентральные расстояния до всех пунктов сети наблюдений. Список находится в правом нижнем углу окна. Пункты сортируются по расстоянию до эпицентра. Таким образом, пользователь мгновенно определяет ближайшую к эпицентру данного события скважину, либо пункт геофизического мониторинга, что ускоряет дальнейший анализ. Данная подсистема полностью интегрирована в ИС «ГГД-Комплекс», что позволяет при **первичном оперативном анализе** обойтись без установки дорогостоящих

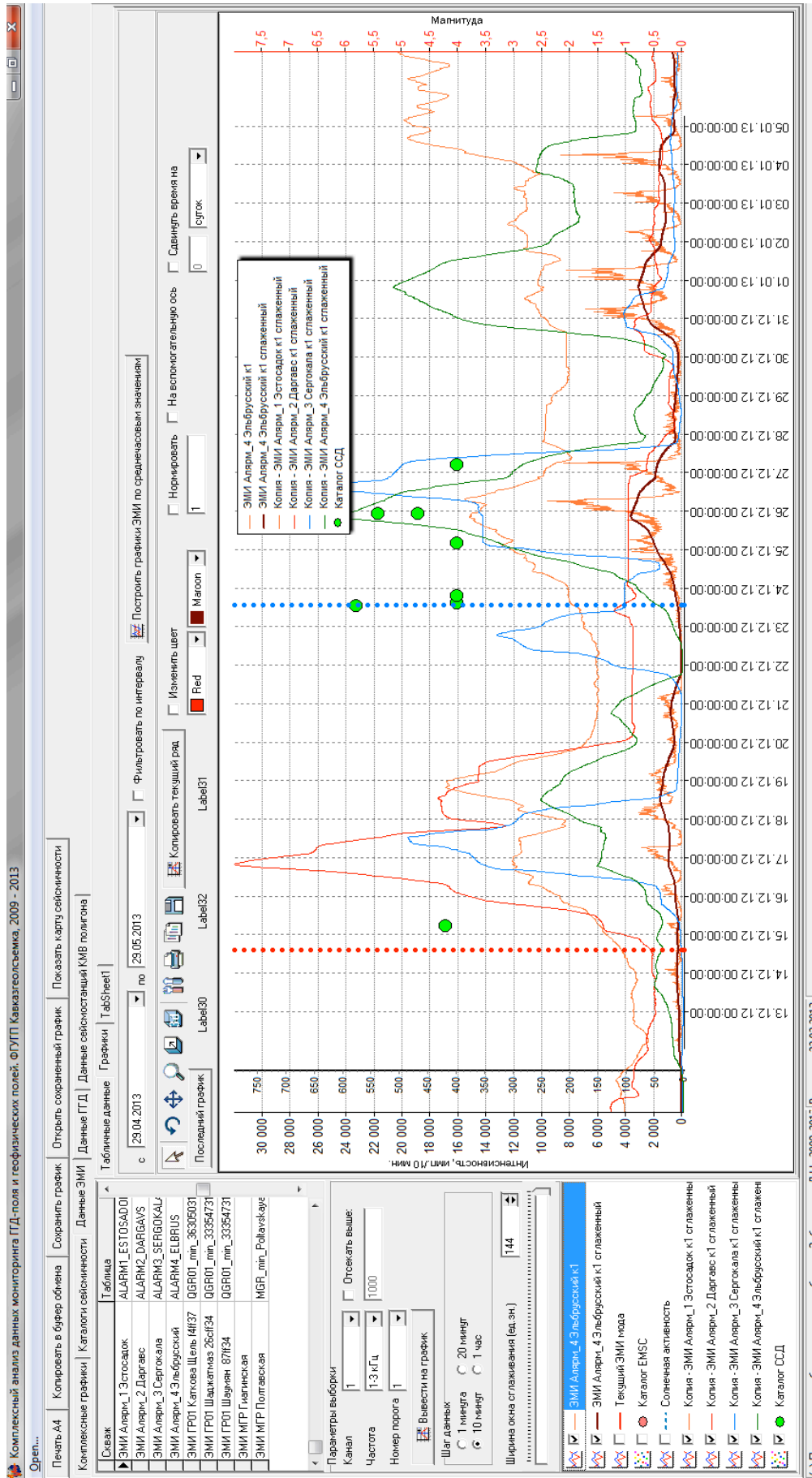


Рис. 2. Окно обработки и анализа данных наблюдений регистраторов ЭМИ.

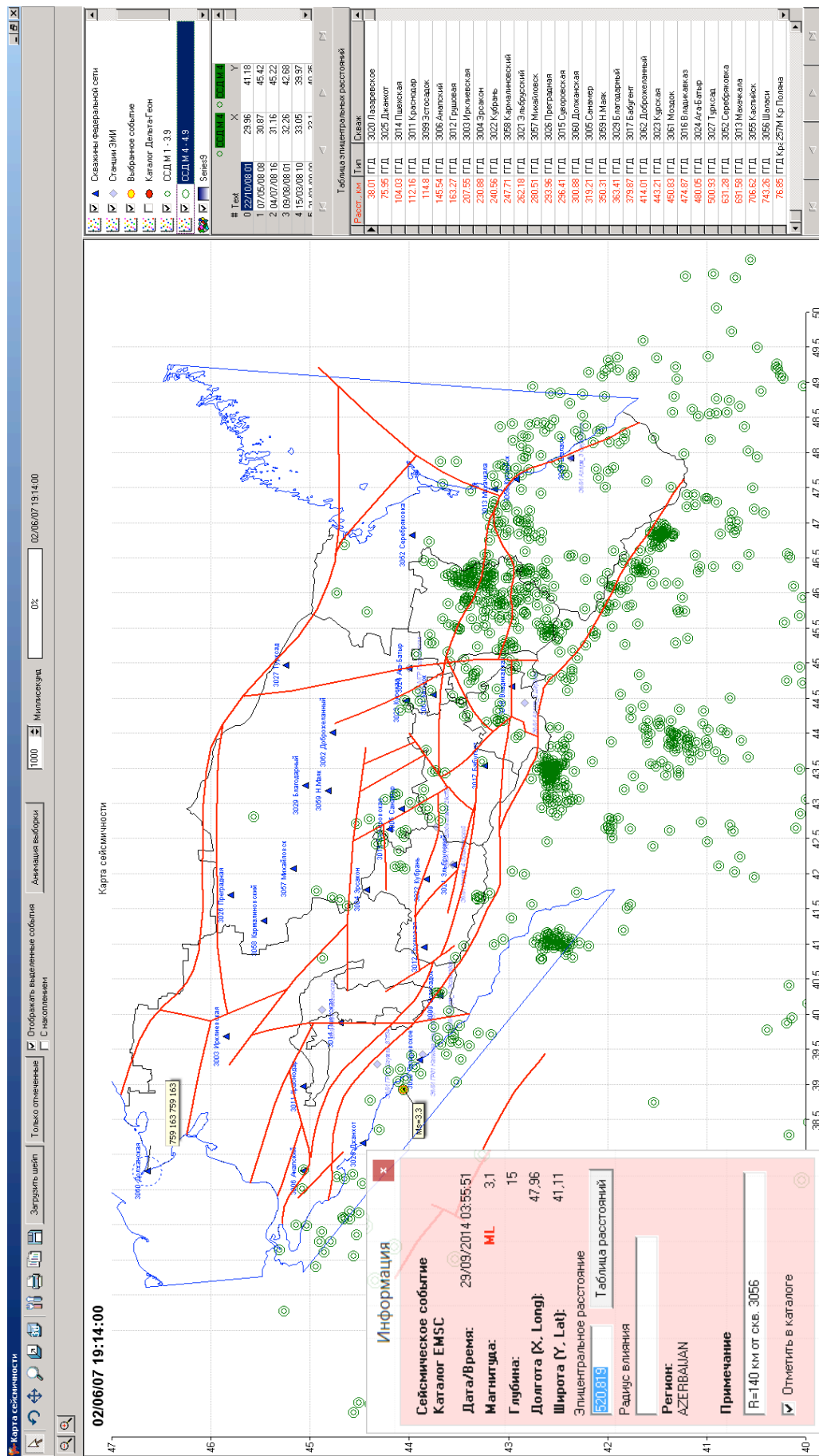


Рис. 3. Окно обработки и анализа пространственного расположения сейсмических событий, отобранных фильтрами пользователя.

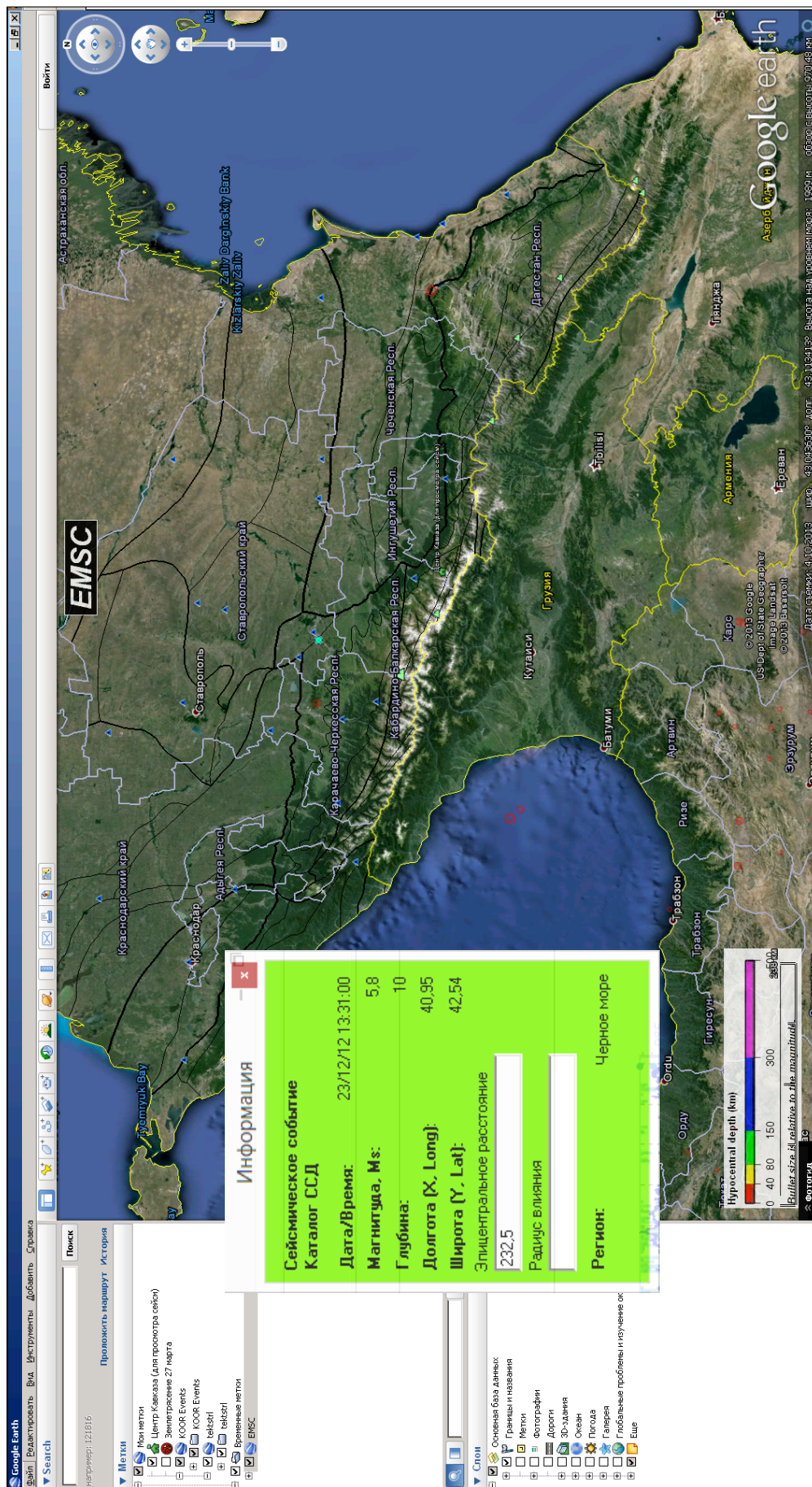


Рис. 4. Окно внешнего приложения GoogleEarth, вызываемого непосредственно из ИС «ГГД-Комплекс»

ГИС-систем ArcGIS. Интеграция ИС «ГГД-Комплекс» с проектом ArcGIS 10 применяется на этапе построения подробных карт сейсмичности и полей напряженности геологической среды.

На рис. 4. показано окно внешнего приложения GoogleEarth, в котором реализован просмотр карты сейсмичности на основе схемы сеймотектонического районирования Северного Кавказа с привлечением всех возможностей спутниковых карт Google, что позволяет точно определить географическую привязку сейсмических событий и получить данные о параметрах события и карты интенсивности, предоставляемые международным каталогом EMSC.

ВЫВОДЫ: Таким образом, приведенная выше информация является лишь кратким обзором возможностей ИС «ГГД-комплекс». Основной целью создания данной ИС является, в первую очередь, разработка гибкого и интуитивно понятного пользователю инструмента с хорошим математическим аппаратом, позволяющего вывести задачу комплексного анализа данных мониторинга ГГД и геофизических полей на принципиально новый уровень. Наряду с реализацией уже известных методик оценки состояния геологической среды, данный инструментарий может позволить найти новые методики и существенно уточнить имеющиеся.

Литература

1. Забирченко Д. Н., Мельков Д. А. Разработка информационной системы комплексного анализа данных мониторинга ГГД-поля и других геофизических полей. В книге: Информационные технологии и системы. Наука и практика. Владикавказ, 2009. С. 253-255.
2. Забирченко Д. Н. Сезонные циклические вариации геофизических полей. Анализ наблюдений ЕИЭМПЗ по сети станций Северо-Кавказского региона. Геология и геофизика Юга России. 2014. № 3. С. 40–51.

INFORMATION SYSTEMS FOR COMPLEX ANALYSIS OF GEOPHYSICAL AND HGD-MONITORING «HGD-COMPLEX»

© 2015 D. N. Zabirchenko

OSC «Kavkazgeolsiomka, 357600, 203, Kislovodskaya str., Essentuki, Stavropolskiy krai, Russia, e-mail: kavkazgs@rusgeology.ru
Geophysical institute of VSC RAS, Russia, 362002, Vladikavkaz, Markov street, 93a, e-mail: cgi_ras@mail.ru

Based on long experience in the analysis of long-term series of observations of the hydrodynamic and geophysical fields on regional network, located on the Black Sea to the Caspian Sea, within the earthquake-prone areas of the North Caucasus region. Was developed, put into operation and is constantly modified the Information System for comprehensive analysis of the data of monitoring of hazardous endogenous geological processes (IS «GGD-Complex»).

Key words: Information System, a comprehensive analysis, GGD-field, EIEMPZ, variations of geophysical fields, monitoring, endogenous geological processes, geological environment of the North-Caucasian region, seismicity, earthquake.

УДК 550.34.094

АНАЛИЗ НАБЛЮДЕНИЙ ЕИЭМПЗ ПО СЕТИ СТАНЦИЙ СЕВЕРО-КАВКАЗСКОГО РЕГИОНА. ВЫДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРНОГО ОБРАЗА АНОМАЛИЙ, ПРЕДВАРЯЮЩИХ АКТИВИЗАЦИЮ СЕЙСМИЧНОСТИ ЦЕНТРАЛЬНОГО И ВОСТОЧНОГО КАВКАЗА

© 2014 Д. Н. Забирченко^{1,2}, С. С. Дьяконов¹

¹ОАО «Кавказгеолсъемка», Россия, 357600, Ставропольский край, г. Ессентуки,
ул. Кисловодская, д. 203, kavkazgs@rusgeology.ru

²Геофизический институт ВНЦ РАН, Россия, 362002, г. Владикавказ,
ул. Маркова, 93а, e-mail: cgi_ras@mail.ru

В результате анализа многолетних рядов наблюдений за естественным импульсным электромагнитным полем Земли (ЕИЭМПЗ) по сети из 10 регистраторов, расположенных от Черного до Каспийского моря в пределах сейсмоопасных районов Северо-Кавказского региона, выделены характерные образы аномалий, предваряющих сейсмические события с магнитудой более 4. Сделана попытка проанализировать взаимосвязь аномалий ЕИЭМПЗ с активизацией сейсмичности наиболее «горячих» сейсмических областей Центрального и Восточного Кавказа.

Ключевые слова: ЕИЭМПЗ, вариации геофизических полей, мониторинг, экзогенные геологические процессы, геологическая среда, Северо-Кавказский регион, сейсмичность, землетрясение, сейсмоактивная зона, магнитуда, гипоцентр.

Комплексный мониторинг опасных эндогенных процессов на территории сейсмоопасных районов Северного Кавказа проводится уже более 20 лет. Он включает в себя наблюдения за гидрогеодеформационным (ГГД) полем, газогидрохимическими полями (содержание свободного и растворенного гелия в подземных водах), а также геофизическими полями (ЕИЭМПЗ) и сейсмической активностью. Традиционно, наиболее активными в сейсмическом плане являются Центральная и Восточная части региона. По результатам ранее проведённых нами работ, в процессе построения схем глубинного строения и сейсмического районирования выделены Центрально-Кавказская сейсмоактивная зона, прослеживающаяся вдоль Нальчикского разлома и Зеленокумск-Грозный-Кумухская линейно-координированная сейсмоактивная зона (ЛКСЗ), являющаяся кососекущей по отношению к общекавказскому простиранию и характеризующаяся землетрясениями мантийного заложения. Сейсмические события Центральной части – в основном мелкофокусные и не имеют достаточно чётко локализованных очагов. Возможно, причиной их возникновения являются глубинные деформационные процессы, протекающие в Восточной части региона. Глубинные разломы, тянущиеся от Каспийского до Чёрного моря, имеют большое значение в сейсмическом режиме всего Северо-Кавказского региона и Восточного Кавказа в частности. Расположение этих разломов обуславливает особенности сейсмичности региона, геотектонического и флюи-

додинамического режима, особенности пространственного положения и миграции очагов землетрясений больших магнитуд. Повышенная сейсмичность Восточной части по отношению к Западной и Центральной исходит из более высокой её подвижности в течение всего Альпийского этапа. Под влиянием давления Аравийской плиты происходит миграция сейсмической активности с юго-запада на северо-восток. Сопоставление тектонической схемы и складчатых зон с картой новейшей неотектоники позволило четко определить зоны возможных очагов землетрясений (ВОЗ). Возникновение этих зон обусловлено высокой геодинамической активностью глубинных нарушений в фундаменте.

К тектонически активным ныне живущим разломам отнесены разрывные нарушения, в зоне которых геодинамические процессы происходят в настоящее время или происходили в недалёком прошлом. Признаками жизни разломов являются в том числе и наблюдаемые в их зоне влияния изменения сейсмических, гидрогеодинамических и газгидрогеохимических полей, ЕИЭМПЗ. Перемещения сосредоточены в узких линейно вытянутых межблоковых зонах. В описываемом регионе (рис. 1.) к активным тектоническим нарушениям (зонам ВОЗ) нами отнесены:

– Субмеридиональная Терекская зона, совпадающая с одноименной складчато-разрывной структурой глубинного заложения и разделяющая Центрально-Предкавказский и Восточно-Предкавказский блоки, а в горной части ограничивающая Ардонский перешеек с востока. Ее ширина изменяется от 10–12 км на юге, до 20 км на севере. В Закавказье в пределах этой зоны расположен Пасанаурский (Хевсурский) очаг землетрясений. За период с 1910 в этой зоне зарегистрировано больше десятка землетрясений с магнитудой более 5,5.

– Субширотная Дуба-Юрт-Центоройская зона ВОЗ протяженностью около 70 км, ограничивающая с юго-востока Сунженскую впадину и простирающаяся вдоль одноимённого надвига. Сейсмическая активность зоны проявлялась в основном в виде землетрясений слабых и средних энергий. К юго-востоку от неё выделены зоны ВОЗ второго порядка Урус-Мартанская, Махкетинская и Элистанжинская, активизировавшиеся видимо в результате деформаций вызванных движением блоков Восточного Предкавказья.

– Диагональная, общекавказского простираения, Гудермесская зона ВОЗ приурочена к СЗ окончанию Восточно-Кавказской зоны концентрации тектонических деформаций. Имеет протяженность около 80 км, при ширине 10–15 км. Северо-западная часть структуры даёт начало прерывистой Малотерской зоне субмеридионального простираения приуроченной к надвиговым и складчато-разрывным нарушениям.

Нами были выделены зоны существующих очагов землетрясений, очевидно, являющихся следствием активных тектонических нарушений в структурах субмеридионального и субширотного простираения первого и второго порядков. Выделены также крупные структуры с возможностью возникновения новых очагов.

Их характерной чертой является обилие складчато-разрывных зон и разрывных нарушений различных порядков. Зоны возможного возникновения очагов землетрясений приурочены и к активным разломам, тяготеющим, в свою очередь, как правило, к глубинным разломам. Преимущественная приуроченность к ним большого количества очагов известных землетрясений, различные геологические признаки и материалы дистанционного дешифрирования позволяют их характеризо-

вать как зоны возможных очагов землетрясений с определённым сейсмическим потенциалом.

Сейсмическая опасность наиболее высока на участках пересечения продольных и поперечных по отношению к Большому Кавказу тектонических нарушений земной коры. За период работ локализовано несколько основных очагов землетрясений, с магнитудами более 4. Эти очаги, а также рои слабых землетрясений ($M < 2-3$), способствуют более обоснованному наглядному выделению зон ВОЗ. Сейсмоактивной является, практически, вся территория Чеченской и Ингушской Республик, а также часть Дагестана.

На юго-восточном пересечении Дуба-Юрт-Центоройской и Гудермесской зон (рис. 2.) выделен глубинный очаг землетрясений Шелковская-Хасавюрт-Гудермес (1). Средняя глубина реализации землетрясений около 60–70 км. Очаг расположен севернее пересечения зон, поскольку глубинное простираение нарушений севернее их проекции на поверхности. Землетрясения магнитудами 5 и более фиксировались в очаге достаточно часто в течение последних 30 лет. Подобные очаги землетрясений наблюдаются и в Дагестане: – Буйнакский (2) на пересечении Гудермесской и межблоковой шовной зон с глубинами реализации 80–150 км и Тляротинский (4) на схождении нескольких мелких зон ВОЗ второго порядка.

Учитывая, что сейсмическая активность Восточной и Центральной частей Северо-Кавказского региона оценивается по ОСР-97 в 9–10 баллов, отмеченные выше зоны возможных очагов землетрясений в сейсмическом отношении представляют серьёзную опасность и требуют дальнейшего изучения.

Из геофизических показателей сейсмической активизации недр наиболее перспективными представляются наблюдения за импульсным электромагнитным излучением Земли (ЕИМПЗ или ЭМИ). Наблюдения за вариациями ЭМИ, обусловленными сейсмотектонической деятельностью, были начаты вскоре после выхода работ А. А. Воробьева (1970), указавшего на возможность аномальных возмущений перед тектоническими землетрясениями. Первые шаги в организации наблюдений аномальных возмущений ЭМИ были предприняты с 1972 г. самим А. А. Воробьевым и сотрудниками Томского политехнического института в районах Байкала, Камчатки и Средней Азии. Интенсивность ЭМИ измерялась методом скорости счета электромагнитных импульсов, превышающих заданный порог по напряженности импульсного поля, на частотах 12,5 и 23 кГц. Проведенные в тот период наблюдения позволили отметить следующие особенности в изменении интенсивности ЭМИ перед близкими землетрясениями с $K=10:1$) аномальный ход наблюдается за 3 или менее суток до толчка, 2) максимум интенсивности приходится на 8–40 часов до землетрясения, 3) сейсмические события всегда происходили на спаде интенсивности, 4) интенсивность ЭМИ в максимуме аномального хода в 4–5 раз и более превышает интенсивность регулярных вариаций.

Исследованиями большого количества ученых [Гохберг и др., 1982, 1988] в различных регионах страны и мира были сделаны некоторые выводы, находящие подтверждение и развитие в работе авторов статьи:

– **обычно момент землетрясения соответствовал спаду аномалий ЕИЭМПЗ до фонового уровня;**

– наряду с суточными, наблюдались **сезонные вариации ЕИЭМПЗ**, имеющие характер двугорбого колебания.

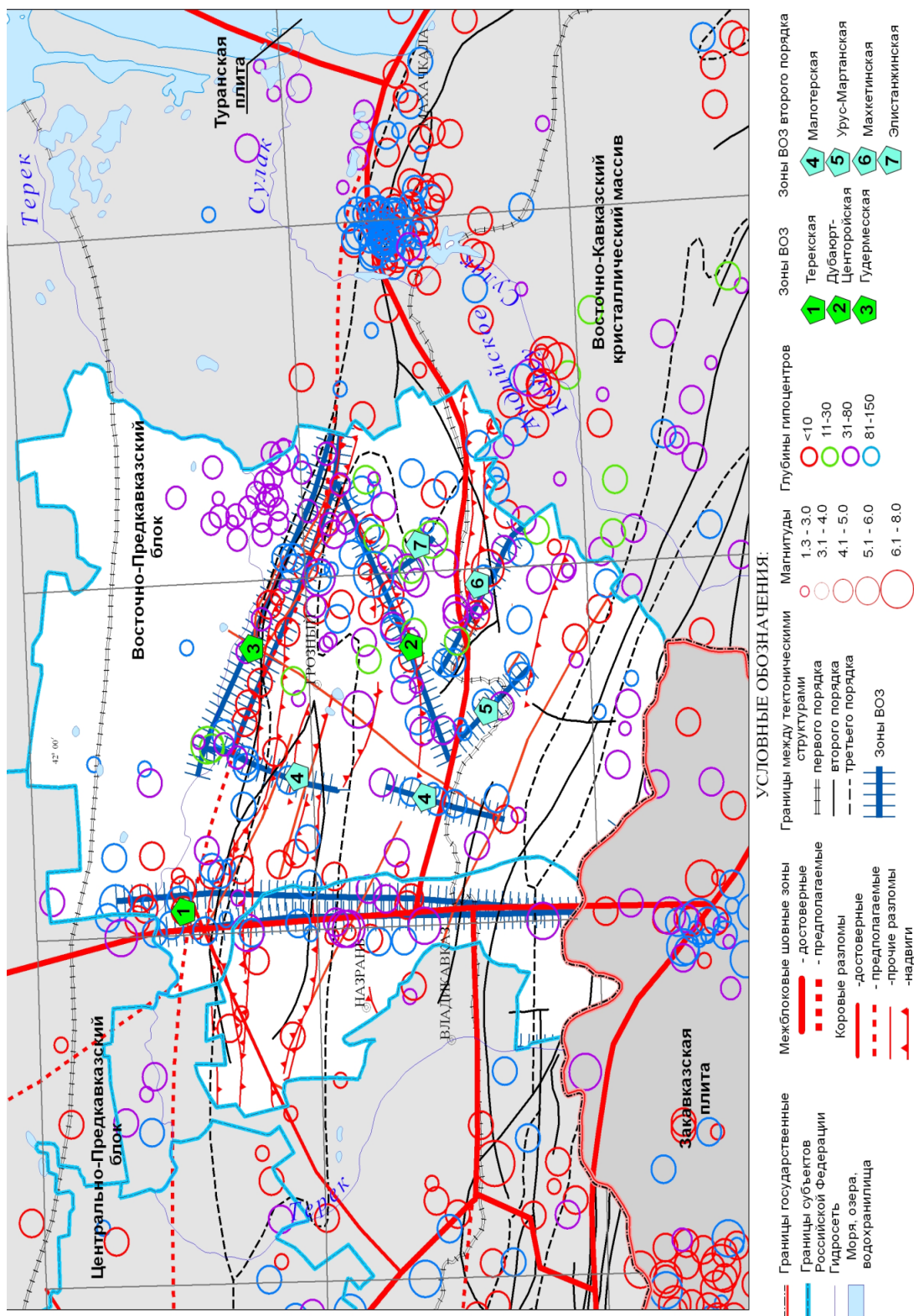


Рис. 1. Схема эпицентров землетрясений с учетом глубин гипоцентров и зоны возможных очагов землетрясений на основе карты глубинного строения

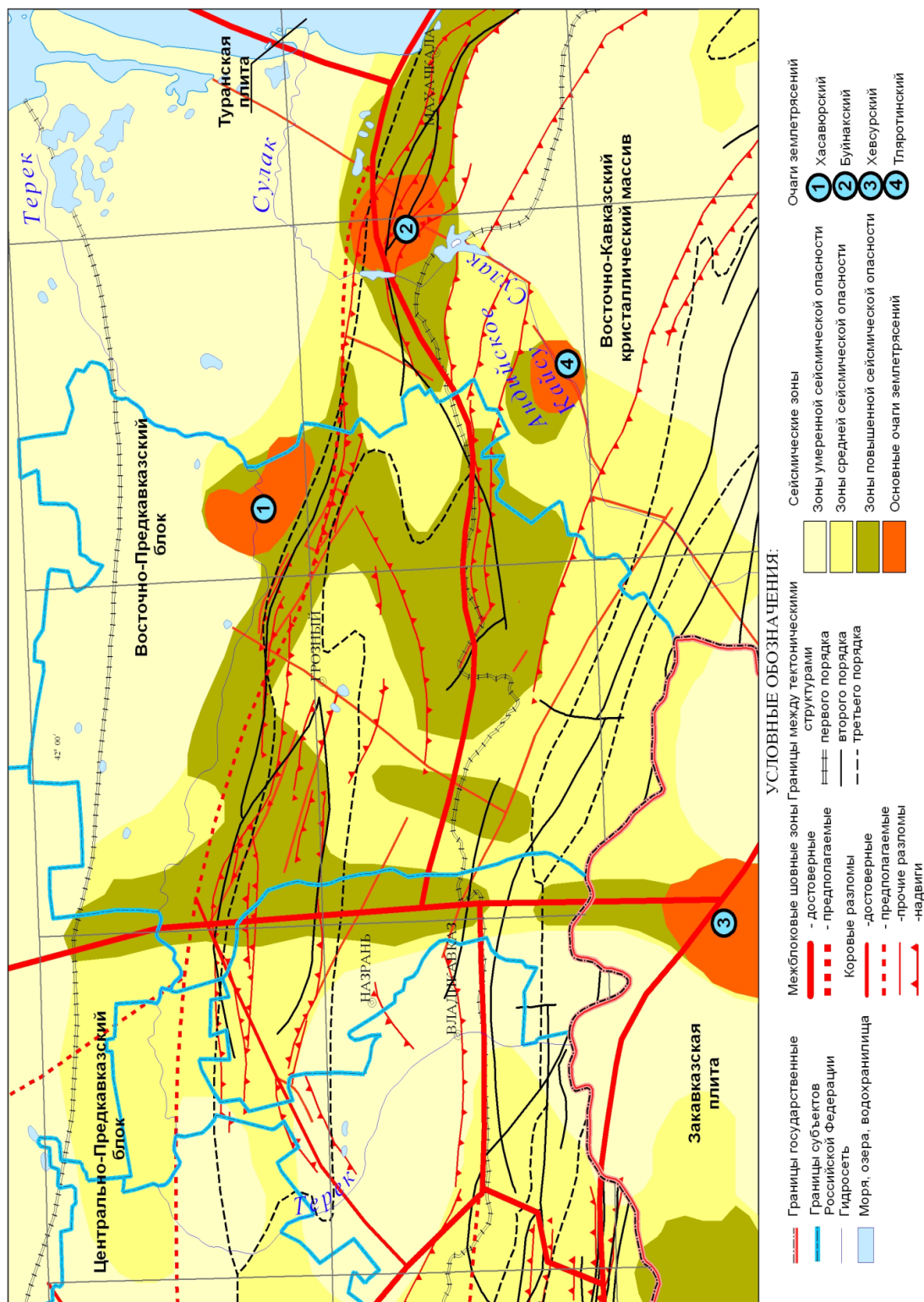


Рис. 2. Схема сеймотектонического районирования Восточной и Центральной частей Северо-Кавказского региона на основе схемы глубинного строения.

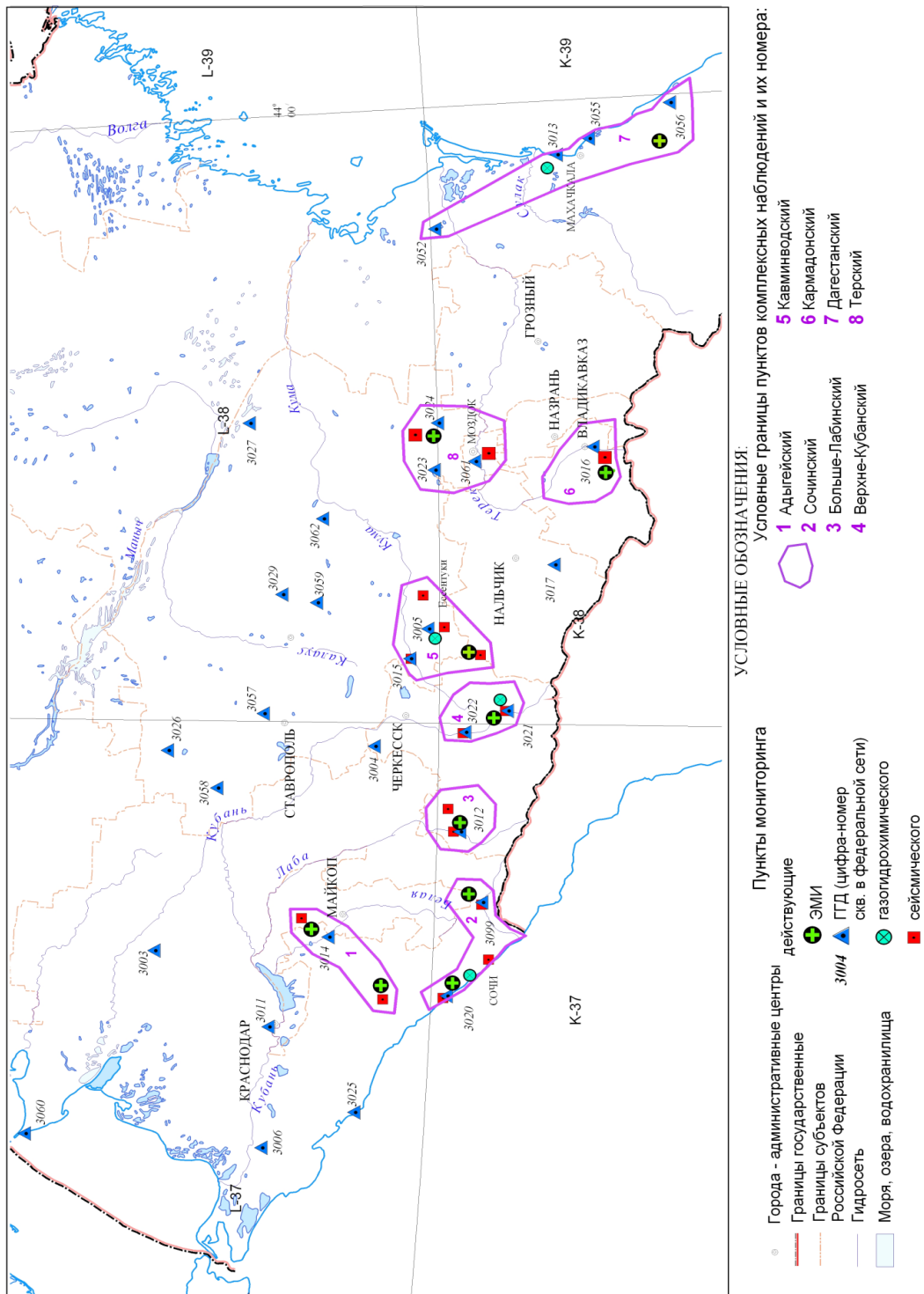


Рис.3. Схема наблюдательной сети ведения мониторинга опасных эндогенных геологических процессов сейсмоактивных территорий Северо-Кавказского региона по состоянию на 2015 г.

Значительный вклад в изученность данной проблемы внесли работы Ю. П. Малышкова и С. Ю. Малышкова (Томск), являющихся авторами многих статей и патентов, разработчиками используемых в настоящее время на Северном Кавказе аппаратурных регистраторов ЕИЭМПЗ типа МГР-01 и ГР-01. В их работах проанализированы многолетние наблюдения естественных импульсных электромагнитных полей Земли в сейсмоактивных районах Прибайкалья, изучены периодические вариации геофизических полей и сейсмичности, показана их возможная связь с движением ядра Земли. Предполагается, что значительная доля регистрируемых электромагнитных импульсов возникает в земной коре и возбуждается плохо изученными высокостабильными суточными и годовыми ритмами движения коры. По мнению авторов, именно эти виды движения активизируют механоэлектрические преобразования в горных породах, определяют появление ЕИЭМПЗ в диапазоне очень низких частот, суточные и годовые вариации полей. Аргументами в пользу **литосферного происхождения** многих регистрируемых импульсов являются многогранные связи электромагнитных полей с процессами подготовки землетрясений, их энергией и удаленностью, высокой корреляцией суточных вариаций полей и сейсмической активности региона [Малышков Ю., Малышков С., 2009а, б].

В настоящее время исследования вариаций естественного электромагнитного излучения ЕИЭМПЗ (ЭМИ) на Северном Кавказе проводятся в непрерывном режиме по региональной сети из 10 станций (рис. 3) [Шемпелев и др., 2008; Шемпелев, Забирченко, 2009]. Регистрация ведется посредством трех типов оборудования: программно-аппаратного комплекса «Alarm-seismo», многоканальных регистраторов «МГР-01М», одноканальных регистраторов с регулируемой резонансной частотой «ГР-01». В процессе работы были уточнены критерии настройки чувствительности аппаратуры, коэффициентов усиления и порогов применительно к каждому конкретному типу оборудования. В частности, мы пришли к выводу, что с учетом сезонных вариаций среднего значения интенсивности ЭМИ, оптимальным для отстройки чувствительности является период апрель-август. В это время можно подобрать коэффициент усиления, который позволит снять нижнюю (летнюю) часть динамического диапазона и не выйти в режим переусиления и отсечки в активный осенне-зимний период.

Однако, ввиду различных условий на пунктах регистрации ЭМИ с точки зрения геологии и тектоники, с учетом влияния техногенных факторов, настройка чувствительности аппаратуры происходит таким образом, чтобы в асейсмичный период на обработанных специальными программными фильтрами графиках четко прослеживалось наличие выраженных суточных вариаций количества импульсов ЭМИ. Таким образом, фоновые суточные вариации могут быть ярко выражены как на интенсивности до 100 импульсов за 10 минут так и на интенсивности до 10000 имп/10 мин. В процессе обработки данных, после применения селективных фильтров, для нивелирования суточных вариаций и выделения аномалий используется построение сглаженной кривой методом скользящего среднего с шириной окна 24 часа. Далее, для сопоставления графиков разных по значениям интенсивности станций, ряды нормируются на среднее фоновое значение в интервале построения (моду).

На рис. 4. приведен характерный пример суточных вариаций и выделения аномалий по трем различным частотным каналам регистратора «Алярм-Сейсмо-03» по станции Эльбрусский.

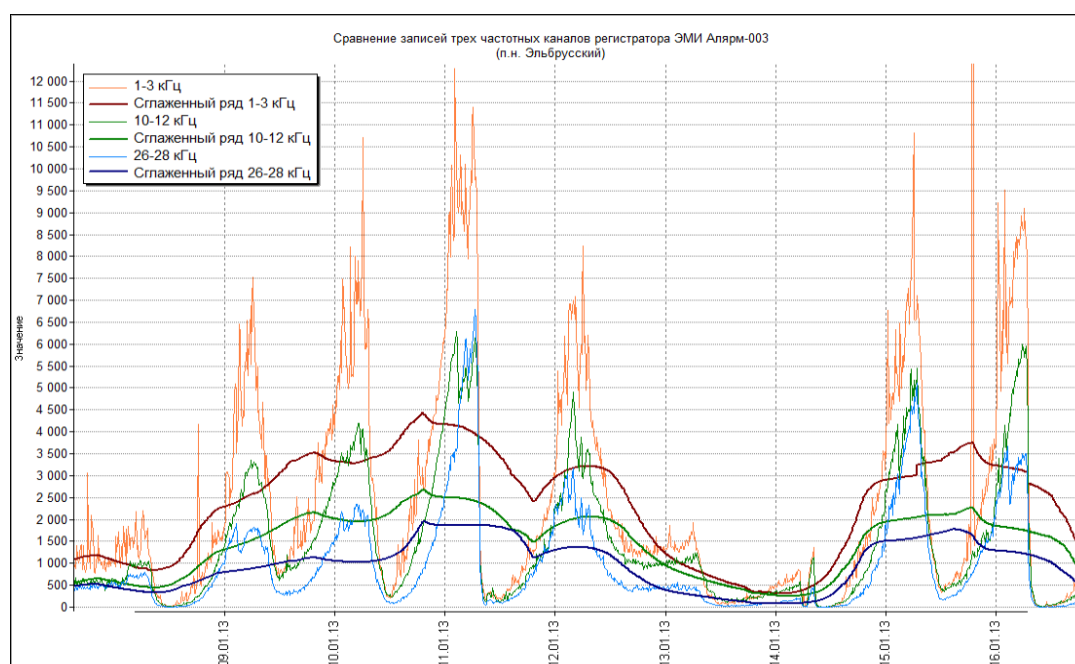


Рис. 4. Пример суточных вариаций и выделения аномалий по трем различным частотным каналам регистратора «Алярм-Сейсмо-03» по станции Эльбрусский.

Как видно из данного примера, при верной настройке аппаратной части, вариации ЭМИ по всем трем частотным каналам практически идентичны. Причем большей чувствительностью традиционно обладает канал 1–3 кГц.

В связи с тем, что аномальные проявления ЭМИ фиксируются краткосрочно – за несколько суток до землетрясения – эта особенность реакции ЭМИ использовалась для уточнения стадии развития сейсмогеодинамического процесса и степени сейсмической опасности. Как и в работах предшественников, аномально высокая электромагнитная эмиссия регистрируется на последней фазе подготовки землетрясения, когда уже начался практически необратимый процесс разрушения горных пород, что подтверждается и результатами наблюдений.

Рис. 4. демонстрирует описанную в предыдущих публикациях [Забирченко, 2014] четко выраженную сезонную цикличность изменения интенсивности ЭМИ по всем пунктам наблюдения. *Нарастание среднесуточного значения количества импульсов начинается в октябре-ноябре и продолжается до мая, достигая максимума в январе-феврале, сезонный минимум приходится на летние месяцы.* Заметны также промежуточные локальные максимумы в марте-апреле. При этом характерная форма суточных вариаций сохраняется. В связи с этой особенностью сезонного смещения фона, приходится использовать плавающий коэффициент нормирования при выделении аномалий.

На рис. 5. показаны синхронные аномалии, предшествовавшие возникновению Сухумской очаговой зоны в акватории Черного моря. На графике показаны только сейсмические события магнитудой выше 4. Основное событие с $M=5.8$ произошло 23 декабря 2012 года. Затухающая активность очага продолжалась по май 2013 года и практически отсутствует по настоящее время (за редким исключением). Пик возникновения афтершоков пришелся на первую декаду после основного события. Число афтершоков магнитудой выше 4 достигло 10.

Возвращаясь к вышеописанным схемам сейсмотектонического районирования Восточной части региона, проанализируем характерные примеры возникновения аномалий ЭМИ по нескольким станциям, предваряющим высокомагнитудные события в очаговых зонах и в пределах зон средней и повышенной сейсмоопасности.

Так, например, на рис.6. приведен сводный график вариаций ЭМИ за период с 29.10 по 28.11.14 г. в низкочастотном диапазоне в сопоставлении с сейсмичностью по данным ССД ГС РАН. Предполагаемые предвестники сейсмических событий (то есть группа аномалий, превышающих фоновые значения в 5–8 раз) выделены красной огибающей, которая представляет собой некую трехпиковую кривую с достаточно резким фронтом, явно выраженными максимумами и плавным спадом, возвращающимся к фоновому уровню. Продолжительность аномалии составила 8–9 суток (по длительности реакции ближайшей к очагу землетрясений станции «Сергокала» в Дагестане, синяя кривая). От момента наступления «затишья» до момента активизации очаговых зон прошло 10–11 суток. При этом станция «Сергокала» продолжала регистрировать менее интенсивные плавно нарастающие всплески количества импульсов ЭМИ вплоть до завершения сейсмической активности в очаге.

Аналогичные примеры приведены на рисунках 7 и 8, демонстрирующих аномальную активность геофизических полей в процессе подготовки серий землетрясений в тех же очаговых зонах и в пределах областей повышенной сейсмоопасности Восточного Кавказа. Форма абриса аномалии представляется весьма характерной, что подтверждается и множеством примеров, не приведенных в данной статье. Варьируются только скорости фронтов и спадов, а также выраженность первичного максимума.

Выводы

На основании анализа данных пятилетних наблюдений по региональной сети регистраторов *можно выделить характерный образ аномального повышения количества импульсов ЕИЭМПЗ* по нескольким пунктам наблюдений в процессе подготовки землетрясений или активизации очаговых зон с магнитудой 4 и выше. Так, наиболее четкие и контрастные трехпиковые всплески длительностью 3–5 суток прослеживались по пунктам высокогорной части региона в низкочастотном диапазоне с заблаговременностью проявления аномалий (от момента спада) от 0,5 до 15 суток. Следует отметить, что аномальные повышения интенсивности импульсов ЭМИ в период подготовки сейсмических событий в приведенных на рис 3. областях в данном случае носят ярко выраженный региональный характер, о чем свидетельствуют практически синхронные и схожие по форме аномалии по восточным, центральным и западным станциям, с очевидным ступенчатым продолжением аномалии по восточным пунктам наблюдений (направление аномалии Запад-Центр-Восток). При более детальном анализе поведения аномалий возможно будет подтверждена очевидная на данных примерах зависимость направления распространения аномалии (по времени «вступления») от предполагаемого района подготовки землетрясения с учетом особенностей тектонического строения региона. Выделение характерного образа аномалии может позволить автоматизировать обнаружение предвестников.

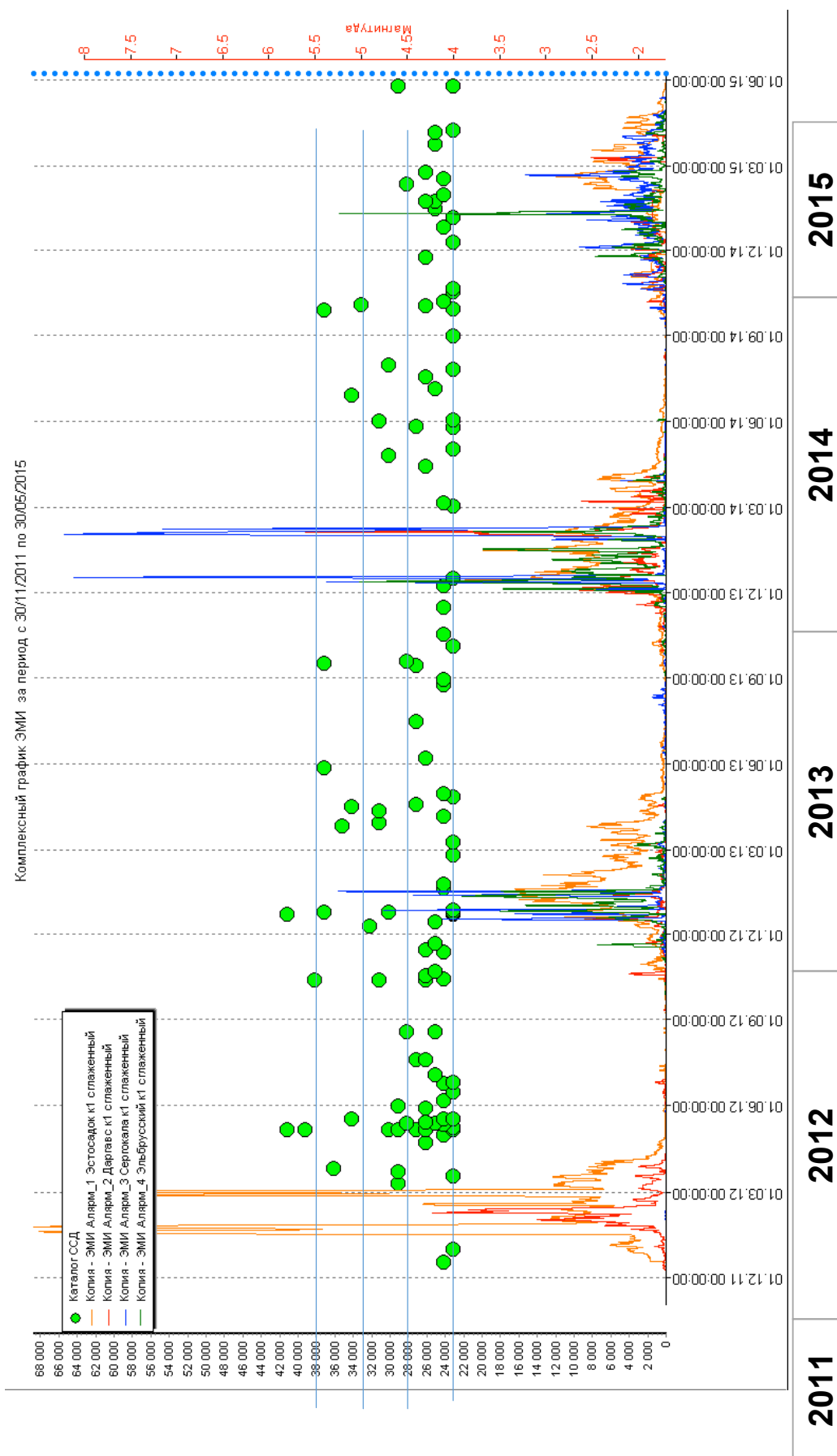


Рис. 4. Устойчивые сезонные вариации интенсивности импульсов ЭМИ за период наблюдений 2011–2015 гг. в сопоставлении с сейсмичностью региона с магнитудой более 4.

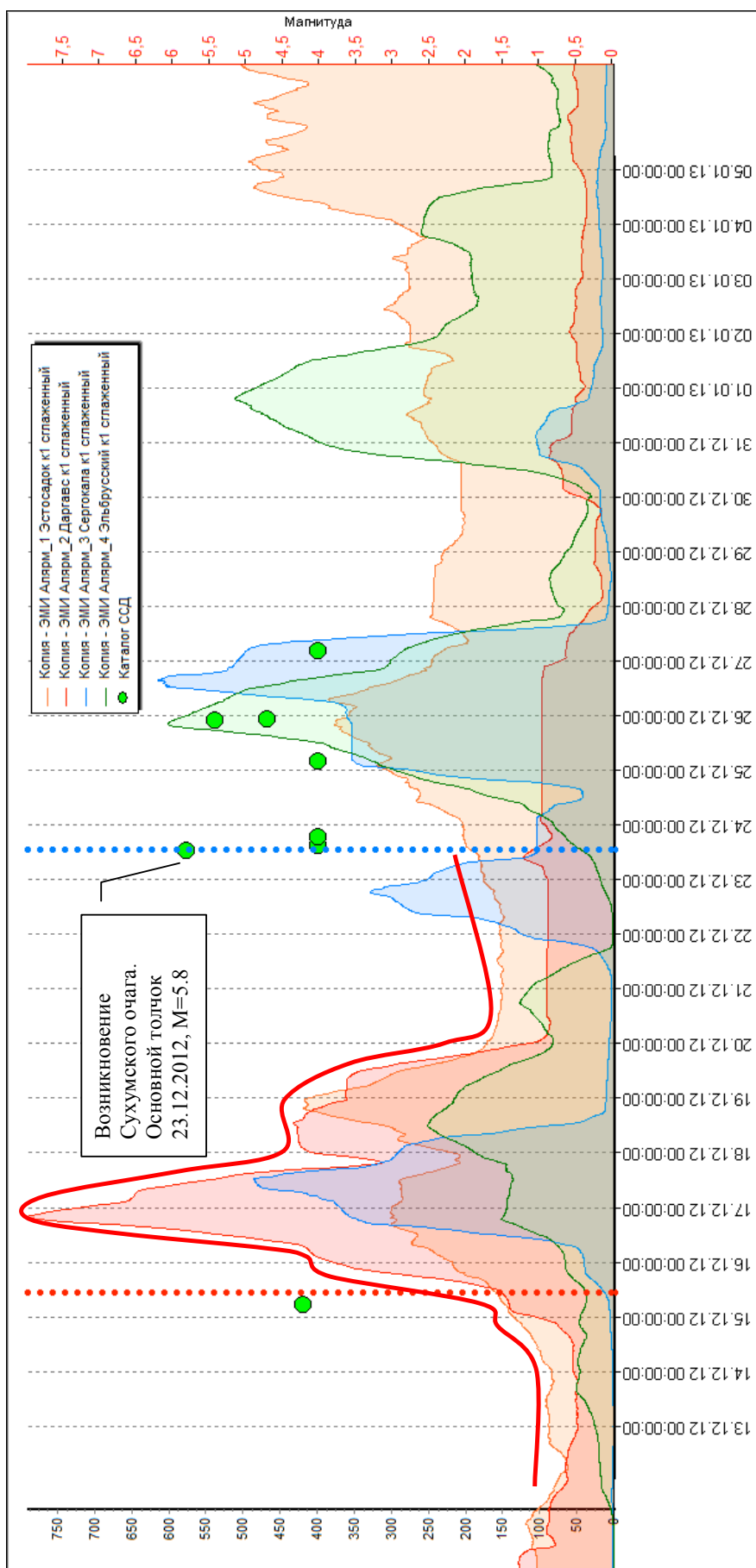


Рис. 5. Синхронные региональные аномалии ЭМИ по четырем станциям перед возникновением Сухумского очага и в период максимальной по магнитуде афтершоковой активности.

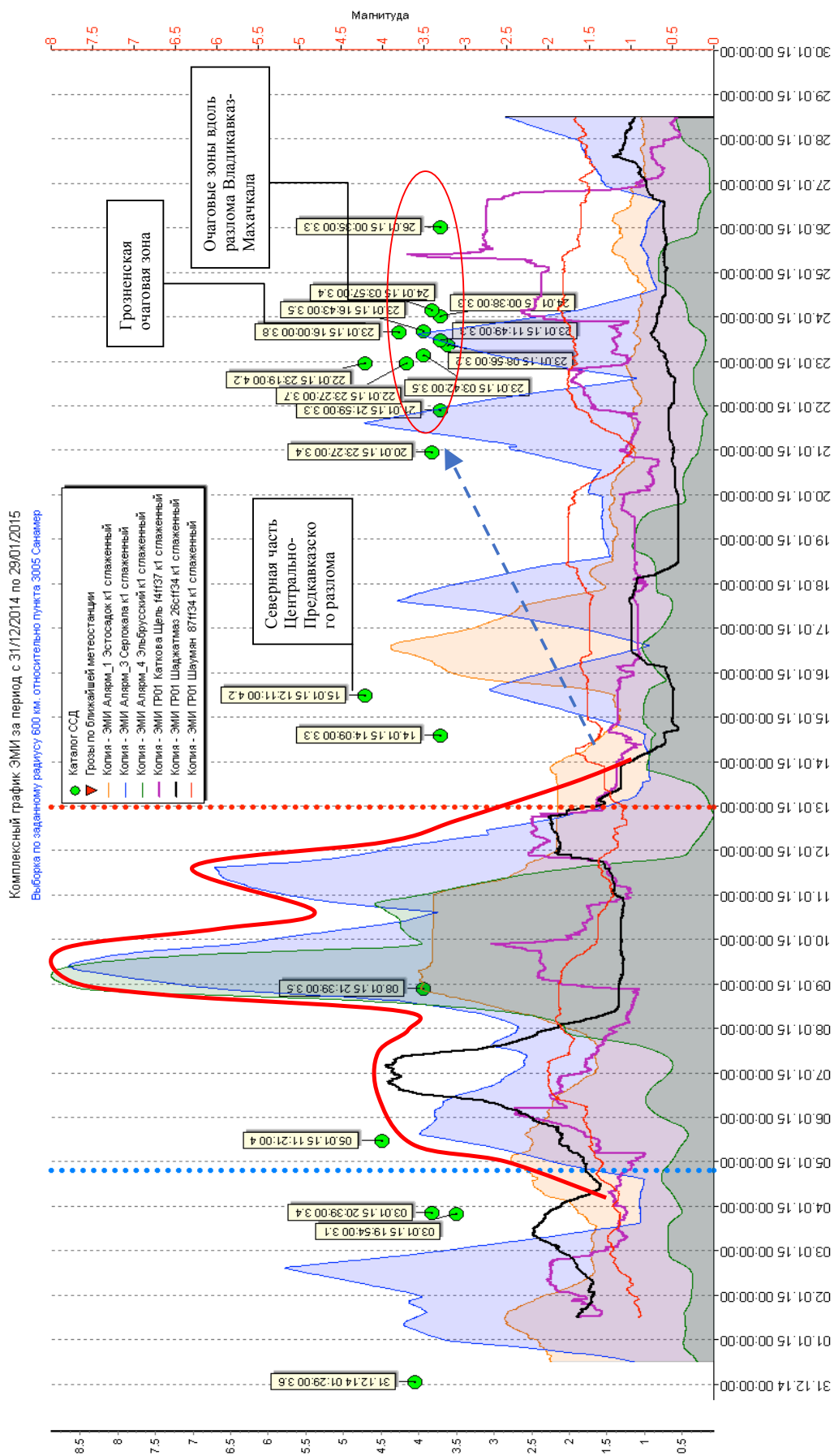


Рис. 6. Сводный график вариации ЭМИ за период с 29.10 по 28.11.14 г. в низкочастотном диапазоне в сопоставлении с сейсмичностью по данным ССД ГС РАН. Предполагаемые предвестники сейсмических событий.

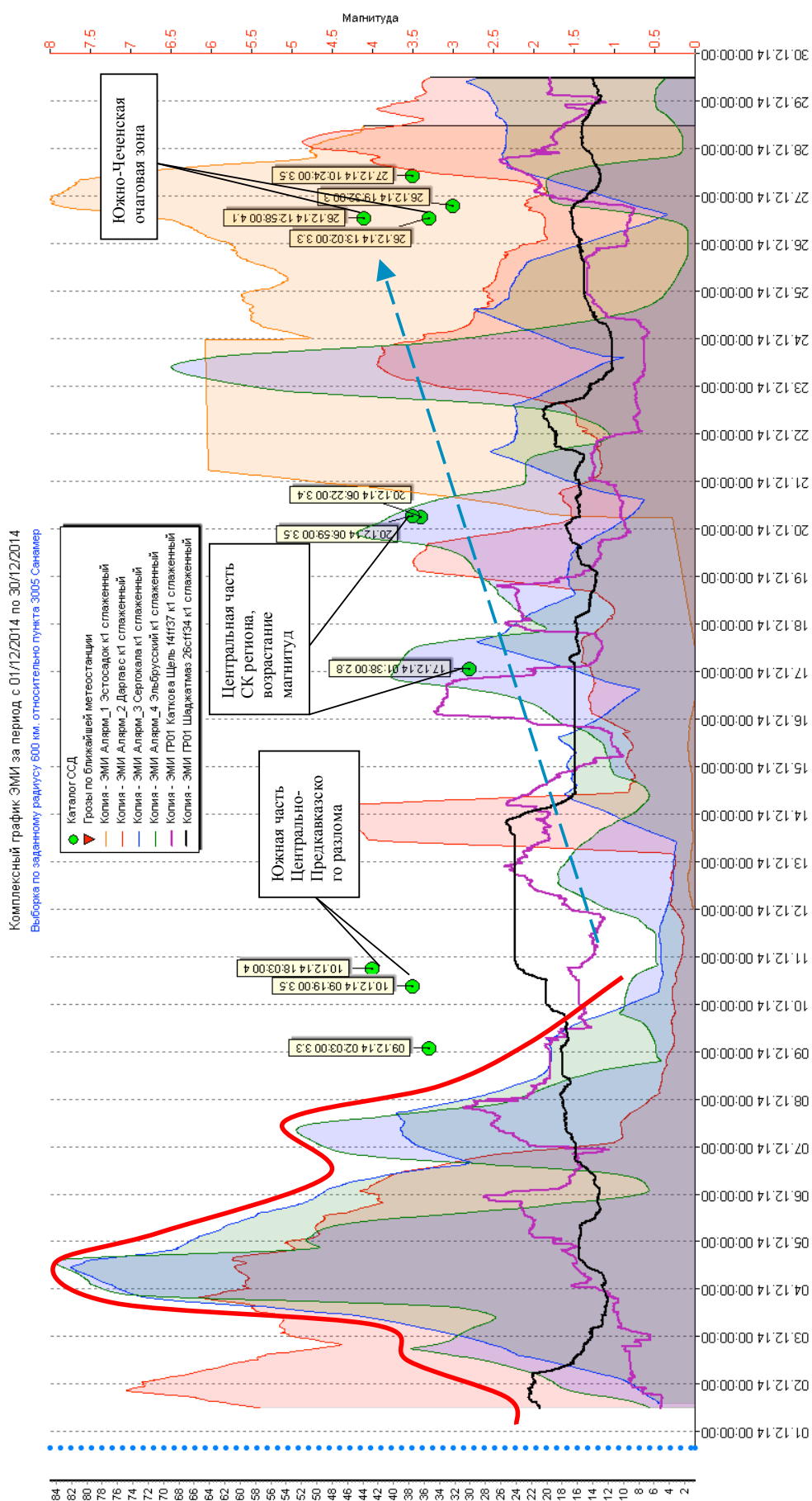


Рис. 7. Сводный график вариации ЭМИ за период с 01.12 по 30.12.14 г. в низкочастотном диапазоне в сопоставлении с сейсмичностью по данным ССД ГС РАН. Предполагаемые предвестники сейсмических событий. Рис. 7. Сводный график вариации ЭМИ за период с 01.12 по 30.12.14 г. в низкочастотном диапазоне в сопоставлении с сейсмичностью по данным ССД ГС РАН. Предполагаемые предвестники сейсмических событий.

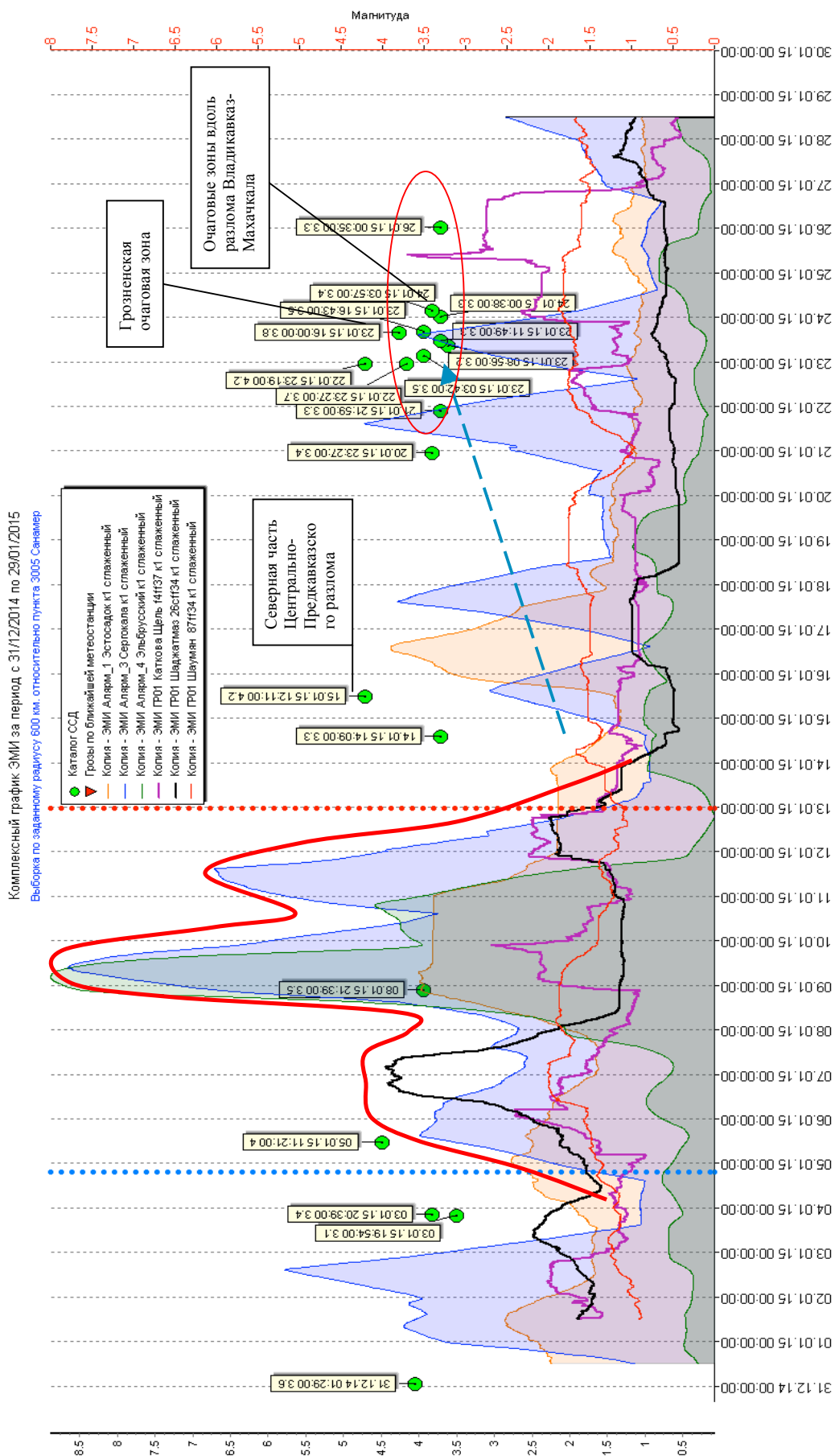


Рис. 8. Сводный график вариаций ЭМИ за период с 31.12.2014 по 30.01.2015 г. в низкочастотном диапазоне в сопоставлении с сейсмичностью по данным ССД ГС РАН. Предполагаемые предвестники сейсмических событий.

Литература

1. Гохберг М. Б., Ешино Т., Моргунов В. А., Огава Т. Результаты регистрации оперативного электромагнитного предвестника землетрясений в Японии. (Известия АН СССР), «Физика Земли», т. 2, с. 85–87, 1982.
2. Гохберг М. Б., Моргунов В. А., Похотелов О. А. Сейсмоэлектромагнитные явления. М.: Наука, 1988.
3. Забирченко Д. Н. Сезонные циклические вариации геофизических полей. Анализ наблюдений ЕИЭМПЗ по сети станций Северо-Кавказского региона. Геология и геофизика Юга России. 2014. № 3. С. 40–51.
4. Малышков Ю. П., Малышков С. Ю. Периодические вариации геофизических полей и сейсмичности, их возможная связь с движением ядра земли // Геология и геофизика», 2009, т. 50, N2, с. 152–172.
5. Малышков Ю. П., Малышков С. Ю. Суточные ритмы движения земной коры и их роль в подготовке землетрясений // Институт оптического мониторинга СО РАН, г. Томск. – 2009.
6. Шемпелев А. Г., Забирченко Д. Н., Здоров А. Г., Куренков В. Н. ЭМИ Дагестанского полигона // Материалы десятых ежегодных чтений им. В. В. Федынского 27–29 февраля 2008 года. Москва, 2008. – С. 46–47.
7. Шемпелев А. Г., Забирченко Д. Н. Суточные вариации электромагнитного поля Земли. // Материалы совещания «Информационные технологии и системы (наука и практика)», Владикавказ, ВНИЦ РАН и РСО-А, 2009. С. 307–309.

ANALYSIS OF OBSERVATIONS OF NATURAL PULSED ELECTROMAGNETIC FIELD OF THE EARTH USING STATIONS NETWORK OF NORTH CAUCASUS REGION. ISOLATION OF CHARACTERISTIC ANOMALY FORMS, THAT ARE PRECEDING SEISMICITY ACTIVATION OF THE CENTRAL AND EASTERN CAUCASUS

© 2015 D. N. Zabirchenko^{1,2}, S. S. Dyakonov¹

¹OSC «Kavkazgeolsiomka, 357600, 203, Kislovodskaya str., Essentuki, Stavropolskiy krai, Russia, e-mail: kavkazgs@rusgeology.ru

²Geophysical institute of VSC RAS, Russia, 362002, Vladikavkaz, Markov street, 93a, e-mail: cgi_ras@mail.ru

An analysis of long-term series of observations of the natural pulsed electromagnetic field of the Earth in a network of 10 registrars, located on the Black Sea to the Caspian Sea within the seismic areas of the North Caucasus region, marked characteristic regional features of the behavior of diurnal and seasonal variations of geophysical fields. Developed a method for detecting anomalies with the offset intensity seasonal background. Do an attempt to analyze the relationship anomalies with the activation of the «hot» seismic regions in Central and Eastern Caucasus.

Key words: seasonal variations of geophysical fields, monitoring, exogenous geological processes, geological environment, the North Caucasus region, seismic, earthquake, seismic zone, magnitude, hypocenter, solar activity, pressure variation.

550.34: 550.837

К ВОПРОСУ О ДЕФОРМАЦИИ ЗЕМНОЙ КОРЫ ОТ СЕЗОННОЙ НАГРУЗКИ ВЕСА ЧИРКЕЙСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

© 2015 Ш. Г. Идармачев, д.ф.-м.н., В. И. Черкашин, д.г.-м.н., М. А. Мусаев,
И. Ш. Идармачев

ФГБУН Институт геологии Дагестанского научного центра РАН, 367030,
Махачкала, ул. Ярагского, 75, e-mail: idarmachev@yandex.ru

В статье сделан анализ данных непрерывных электрометрических наблюдений в скважине, расположенной в районе правого борта плотины Чиркейской ГЭС за период времени 2010–2013 гг., которые коррелируют с сезонным изменением уровня воды в водохранилище. Один из механизмов связи между изменениями уровня воды в водохранилище и кажущимся сопротивлением пород может быть деформационный, т.е., сезонное изменение нагрузки, создаваемое весом водохранилища приводит к упругой деформации земной коры. Численные оценки показывают, что значение вертикальной относительной деформации земной коры в районе плотины ГЭС может достигать величин $1,2 \times 10^{-5}$

Ключевые слова: водохранилище, кажущееся сопротивление, сезонные вариации, деформация.

Введение

Результаты деятельности человека в особо крупных масштабах нарушают природное равновесие окружающей нас среды, при этом в отдельных случаях это приводит к обострению экологической ситуации. Например, заполнение крупных водохранилищ приводит к изменению ландшафта территории, климата, деформации земной коры, увеличению сейсмичности, а в отдельных случаях и к возникновению сильных землетрясений с магнитудами $M > 6$ в асейсмичных платформенных частях Земли. Механизм возникновения таких землетрясений пока остается неопределенным, но имеются несколько предположений, высказанных на этот счет [Rothe, 1970]: 1) вес водохранилища создает дополнительную нагрузку на земную кору, которая приводит к подвижкам блоков по разлому в тех местах, где упругие напряжения близки к пределу прочности материала; 2) влияние механизма, связанного с ростом порово-трещинного давления от напора воды в водохранилище, которая снижает величину эффективного давления пород и прочность на сдвиг. Другими словами, нарушается равновесное состояние блоков, способствует их подвижкам. Поэтому актуальной становится задача, связанная с определением механизма плотинных землетрясений и его предвестников с целью снижения риска возможных негативных последствий.

В 1969 году при заполнении крупнейшего в мире водохранилища Кариба на р. Замбези в Африке с объемом воды 150 км^3 были зарегистрированы деформации земной коры на большой площади. По данным повторных нивелировок, проведенных до и после заполнения водохранилища, было обнаружено опускание dna водохранилища на 13 см. Скорость опускания dna во время заполнения в первые годы составила 10–12 мм/год.

На другом крупном водохранилище Мид на р. Колорадо США с объемом воды 35 км^3 в 1935 г. была проведена высокоточная нивелировка в период заполнения и через 5 лет после заполнения по нескольким линиям общей протяженностью более 1000 км, в том числе и пересекающим чашу заполнения. Результаты измерений показали, что в период когда водохранилище наполнилось на 80% максимальное прогибание земной коры под водохранилищем составило 12 см. Общая площадь прогиба земной поверхности составила не менее 30000 км^2 , т.е. оказалось на два порядка больше, чем площадь водного зеркала. Эти и другие литературные источники [Simpson, 1999; Гупта, Растоги, 1979] показывают, что наполнение крупного водохранилища может привести к нарушению равновесного состояния земной коры в районе водохранилища.

В процессе строительства плотины Красноярской ГЭС, длиной более 1 км и высотой до 120 м, заложенной в гранитах и сиенитах палеозойского возраста, плотина начала оседать. В центральной части величина осадки составила 30 мм относительно пунктов, удаленных на 0,3–0,5 км. В период строительства плотина, в результате неравномерной осадки, наклонилась на 30–40 см по гребню в сторону нижнего бьефа. После заполнения водохранилища в результате прогибания его ложа наклон плотины изменился в противоположную сторону. Данный факт показывает, что нагрузка водохранилища деформирует породы в том числе, которые расположены в районе плотины ГЭС.

В районе Чиркейского водохранилища объемом воды $2,8 \text{ км}^3$, расположенного на Северном Кавказе, первые годы после его заполнения проводились повторные нивелировки. По данным, приведенным в работе [Дейнега, 1989] на отдельных реперах наблюдались опускания земной поверхности на 23–26 мм. При сезонных изменениях веса водохранилища были зафиксированы опускания и подъемы земной поверхности с амплитудами, соответственно, 5–6 мм и 3 мм. Эти данные свидетельствуют о том, что первоначальное заполнение привело к пластической деформации земной коры, а в последующих сезонных изменениях веса водохранилища ведет себя как упругое тело.

Детальное исследование сейсмичности района Чиркейского водохранилища авторами [Каракин и др., 1990; Арефьев и др., 2010; Идармачев и др., 2012] показало, что его заполнение вызвало увеличение сейсмической активности в первые годы в 50 раз. В последующие годы не наблюдалось прямой связи с сезонным изменением уровня воды. Максимумы сейсмической активности происходили с двухгодичной периодичностью, что свидетельствует о сложной взаимосвязи нагрузки водохранилища с тектоническим режимом района. Можно предположить, что одним из механизмов такой связи является тот факт, что при достижении максимальной деформации в разломе, превосходящий предел его прочности, приводит к подвижке и как следствие к повышению сейсмичности.

Об упругой деформации земной коры в районе Чиркейского водохранилища от сезонной нагрузки его веса свидетельствуют данные наблюдений за геомагнитным полем [Сулейманов и др., 2010]. Временной ход геомагнитного поля имеет стереотипный вид. С увеличением уровня воды наблюдается уменьшение магнитного поля. Такая зависимость отмечалась и на других водохранилищах мира [Каримов, Прохоров, 1984; Devis, Stacey, 1972]. Одним из возможных объяснений такой зависимости является деформация земной коры.



Рис. 1. Фото участка правого борта плотины Чиркейской ГЭС (цифрами 1 и 2 отмечены места расположения устьев скважин).

В настоящей статье сделаны оценки деформации земной коры при изменении веса воды водохранилища в период паводка рек и разгрузки водохранилища в зимний период.

Описание района исследований и метода наблюдений

Район расположения Чиркейской ГЭС соответствует географическим координатам $\varphi=43^{\circ}$ С. Ш.; $\lambda=47^{\circ}$ В. Д., сложен из мезозойских и кайнозойских отложений. Общая мощность осадочной толщи оценивается в 6500–7000 м. Ложе водохранилища длиной 10 км и шириной 3–4 км сложено верхнемеловыми известняками. Мощность их меняется в пределах 400–450 м.

На рис. 1 показан участок правого борта плотины ГЭС, где расположены исследовательские скважины, в которых проводятся непрерывные наблюдения наблюдений за кажущимся электрическим сопротивлением пород (скважина №1) и температурой воды в скважине (№2). Данные скважины были пробурены в период строительства ГЭС, для контроля над боковой фильтрацией воды в обход плотины в период заполнения водохранилища. Уровни воды в обеих скважинах имеют синхронный ход по фазе с уровнем воды в водохранилище, но при этом отстают в абсолютных отметках на 13–14 м (скв. №1) и 24–25 м (скв. №2).

Исследуемый массив пород сложен из горизонтально расположенных пачек плотных известняков верхнего мела. Прослойки между пачками известняков состоят из мергелей, аргиллитов и известковых глин. В отдельных местах прослеживаются крупные трещины, секущие массив, преимущественно субвертикального простирания. В самих плотных пачках известняков имеется сеть мелких трещин.

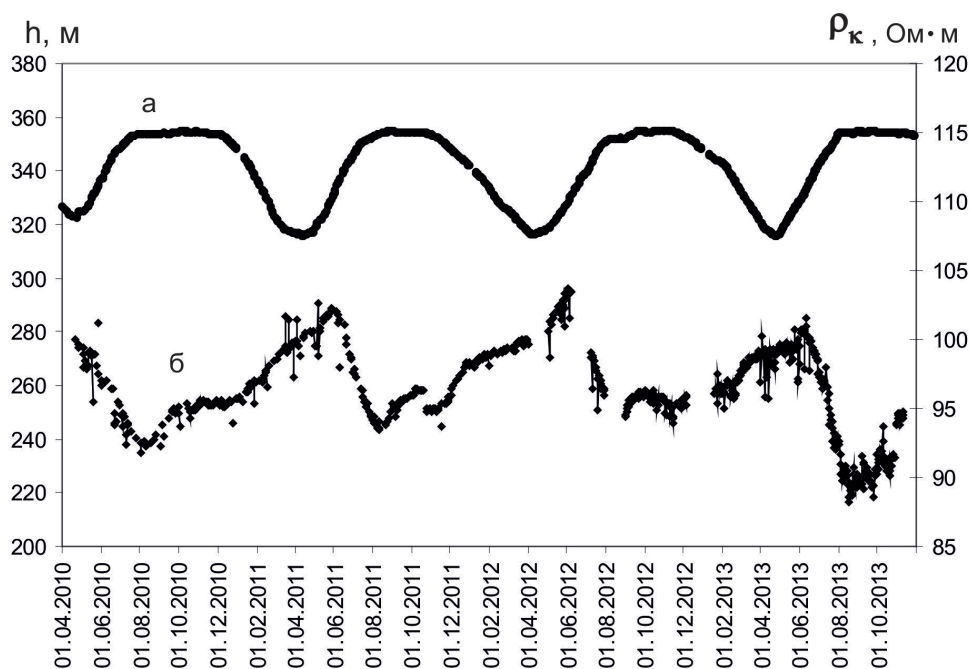


Рис. 2. Графики среднесуточных значений: а – уровня воды в водохранилище; б – кажущегося сопротивления пород в скважине.

В скважине №1, глубина которой равна 120 м, Институтом геологии Дагестанского научного центра РАН совместно с дирекцией Чиркейской ГЭС проводится измерение кажущегося электрического сопротивления пород с помощью четырехэлектродной установки электрического зондирования. Измерительная установка располагается на расстоянии 99 м от устья скважины, при этом всегда находится ниже минимального уровня воды в скважине на 30 м. Процесс измерений происходит непрерывно. Относительная погрешность измерений среднесуточных данных не превышает $d=\pm 0,2\%$.

На рис. 2 представлены графики среднесуточных значений уровня воды в водохранилище и кажущегося сопротивления пород в скважине за период 2010–2013 гг.

Сравнение графиков показывает, что в период повышения уровня воды в водохранилище величина кажущееся сопротивление пород уменьшается, а разгрузка водохранилища вызывает увеличение кажущегося сопротивления. Коэффициент корреляции между ними за период 2010–2013 гг. равен $k=-0,82$ [Идармачев, 2014].

Одним из механизмов связи между изменениями уровня воды в водохранилище и кажущимся сопротивлением пород может быть деформация пород ложа водохранилища. Сезонное изменение нагрузки, создаваемое весом водохранилища, приводит к упругой деформации земной коры, в том числе массива горных пород в районе плотины. Основанием для такого предположения послужило то, что электрическое сопротивление очень чувствительно реагирует на деформацию скальных пород.

В условиях естественного залегания горных пород в земных недрах их удельное электрическое сопротивление практически не зависит от сопротивления минерального скелета, а определяется количеством и минерализацией воды в порах и трещинах породы, трещиноватостью и пористостью этой породы, ее структурой, температурой и давлением. Минерализация и температура воды для пород, которые

расположены ниже уровня грунтовых вод, можно считать постоянными величинами, а вот порово-трещинный объем, извилистость поровых каналов проводимости тесно связаны между собой и имеют сильную зависимость от деформации. При сжатии породы трещины, ориентированные перпендикулярно оси сжатия, закрываются, извилистость поровых каналов проводимости растет, порово-трещинный объем уменьшается, что приводит к увеличению сопротивления. При растяжении породы все происходит наоборот.

При упругом изгибе породы трещины в ней открываются, в результате чего порово-трещинный объем увеличивается, а извилистость поровых каналов уменьшается, что приводит к уменьшению электрического сопротивления.

В отдельных случаях коэффициент зависимости электрического сопротивления породы от деформации достигает очень больших величин. Другими словами электрическое сопротивление горных пород является своего рода чувствительным индикатором деформации, при этом наибольшая чувствительность характерна для малых деформаций. Максимальный коэффициент усиления, полученный в лабораторных условиях, составляет 10^5 [Morrow, Brace, 1981]. Уровень относительной погрешности измерений используемой нами установки $d=\pm 0,2\%$ позволяет оценить максимальную чувствительность породы к деформации, например, если порода обладает тензочувствительностью 10^5 , то установка должна реагировать на относительную деформацию породы, которая превышает уровень 10^{-7} .

На основании этих данных и было сделано предположение о том, что асинхронные изменения графиков уровня воды в Чиркейском водохранилище и кажущегося сопротивления в скважине могут быть связаны с процессом деформации земной коры в зависимости от изменения веса воды в водохранилище. Для его проверки были сделаны численные оценки вертикальной деформации пород от изменения сезонного веса Чиркейского водохранилища.

Расчет деформации земной коры от сезонной нагрузки водохранилища

Объем максимального сезонного увеличения воды в Чиркейском водохранилище рассмотрим в виде прямоугольного параллелепипеда объемом $V=a \cdot b \cdot h$ (рис. 3), где a – длина зеркала водохранилища – 10 км; b – средняя ширина – 2,5 км; h – величина максимального сезонного увеличения уровня воды водохранилища – 0,035 км.

Далее, для приближенного расчета деформации представим выбранный объем в виде 20-ти равных элементарных прямоугольных параллелепипедов размерами 0,5'2,5'0,035 км, вес каждого из которых принимаем за точечную силу, равную $F_i = 4,3 \times 10^8$ Н.

Для расчета вертикальной деформации Δd в точке P , как результат действия силы F_i , воспользуемся известной формулой [Timoshenko, Goodier, 1951]:

$$\Delta d = \frac{F_i}{2\pi E} \left[\frac{(1+\nu)z^2}{R^3} + \frac{2(1-\nu^2)}{R} \right], \quad (1)$$

где Dd – элементарная деформация в рассматриваемой точке P , E – модуль Юнга, ν – коэффициент Пуассона, z – вертикальное расстояние от дна до точки P , R – расстояние от точки приложения силы F_i до точки P .

Чтобы получить результирующую деформацию d в точке P необходимо просуммировать элементарные деформации Dd от всех точечных сил F_i . Вычисления

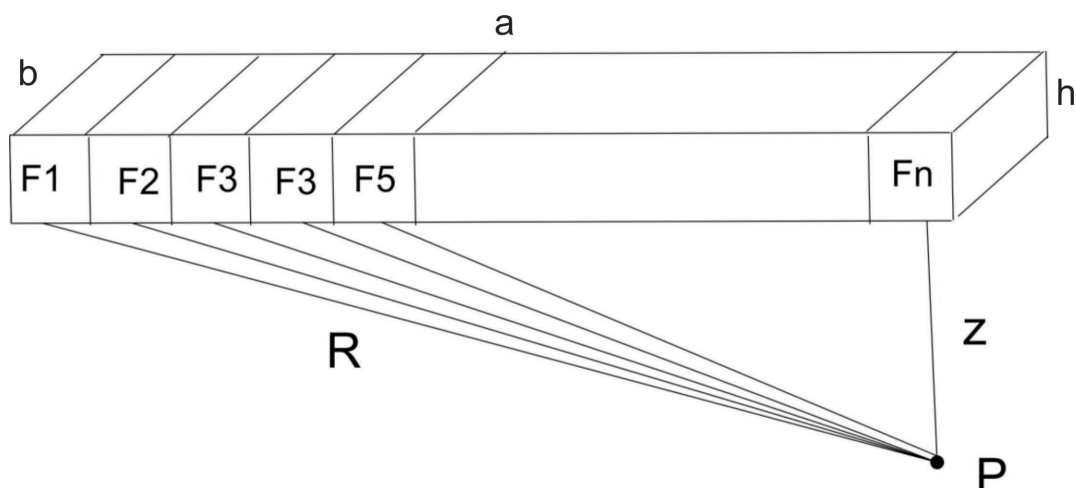


Рис. 3. Схема модели расчета упругой деформации в точке Р при максимальной сезонной нагрузке веса воды в Чиркейском водохранилище.

Таблица 1

Значения вертикальной деформации земной коры под центром водохранилища при максимальном уровне воды, в миллиметрах

№	Z, м E, Па	100	500	1000	1500	2000	2500	3000
1	1×10 ⁹	2,2	1,9	1,5	1,3	1,2	1,0	0,95
2	2×10 ⁹	1,1	0,95	0,75	0,65	0,60	0,50	0,48
3	3×10 ⁹	0,73	0,63	0,50	0,43	0,40	0,33	0,32
4	4×10 ⁹	0,55	0,48	0,38	0,33	0,3	0,25	0,24
5	5×10 ⁹	0,44	0,38	0,30	0,26	0,24	0,20	0,19
6	6×10 ⁹	0,37	0,32	0,25	0,22	0,20	0,17	0,16
7	7×10 ⁹	0,31	0,27	0,21	0,19	0,17	0,14	0,14
8	8×10 ⁹	0,28	0,24	0,19	0,16	0,15	0,13	0,12

Таблица 2

Значения вертикальной деформации земной коры в районе плотины ГЭС при максимальном уровне воды в водохранилище, в миллиметрах

№	Z, м E, Па	100	500	1000	1500	2000	2500	3000
1	1×10 ⁹	1,20	1,10	0,90	0,80	0,76	0,70	0,65
2	2×10 ⁹	0,60	0,53	0,45	0,40	0,38	0,35	0,33
3	3×10 ⁹	0,40	0,37	0,30	0,27	0,25	0,23	0,22
4	4×10 ⁹	0,30	0,28	0,23	0,20	0,19	0,18	0,16
5	5×10 ⁹	0,24	0,22	0,18	0,16	0,15	0,14	0,13
6	6×10 ⁹	0,20	0,18	0,15	0,13	0,13	0,12	0,11
7	7×10 ⁹	0,17	0,16	0,13	0,11	0,11	0,10	0,09
8	8×10 ⁹	0,15	0,14	0,11	0,10	0,10	0,09	0,08

деформации проводились, используя программу MS Excel, для карбонатных пород, из которых состоит ложе Чиркейского водохранилища. Для этого использовались значения модуля Юнга в диапазоне $E = (1,0, 8,0) \times 10^9$ Па и коэффициента Пуассона $\nu = 0,27$ [Котляхов, 1977]. Вычисления деформации проводились для центра водохранилища и района плотины ГЭС, где располагается исследовательская скважина, для различных глубин, $z = 100, 3000$ м. Результаты вычисления деформаций приведены в таблице 1 и 2.

Обсуждение результатов

Из табл. 1 и 2 видно, что максимальные расчетные деформации под центром водохранилища составляют несколько миллиметров, а для массива пород, расположенных в районе плотины, величины деформации ниже, примерно, в два раза меньше.

Рассмотрим, в каких пределах может меняться удельное электрическое сопротивление породы в зависимости от деформации. Связь между ними определяется коэффициентом тензочувствительности породы T :

$$D\rho/\rho = T \times d/z, \quad (2)$$

где $D\rho/\rho$ – относительное изменение удельного электрического сопротивления; d/z – относительная деформация.

Максимальная вертикальная относительная деформация пород в районе плотины ГЭС от дополнительного веса водохранилища для массива толщиной $z = 100$ м и $d = 1,2$ мм равна $1,2 \times 10^{-5}$.

Известные из литературных источников [Mogrow, Brace, 1981; Авагимов, 1991] коэффициенты тензочувствительности пород в естественных условиях своего залегания находятся в пределах: $T = 10^3, 10^5$. Подставляя эти значения и $d/z = 1,2 \times 10^{-5}$ в (3), получаем – $D\rho/\rho = 0,012, 1,2$, или же (1,2%, 120%).

При сравнении этих вычисленных значений $D\rho/\rho$ с данными сезонных вариаций кажущегося сопротивления пород в скважине за различные года (рис. 2): 6,1%, 11,5%, можно видеть, что наши экспериментальные данные находятся в пределах границ численных оценок.

Для определения коэффициента тензочувствительности водонасыщенного образца породы, взятого из района исследований, был проведен лабораторный эксперимент в результате которого было получено $T \sim 6 \times 10^3$. Подставляя его в (2) получаем $D\rho/\rho = 0,072$ (7,2%), т.е. результаты лабораторных оценок изменения удельного электрического сопротивления пород от деформации находятся в хорошем соответствии с результатами натурных данных изменения кажущегося сопротивления горных пород в скважине от дополнительной нагрузки веса водохранилища.

Таким образом, численные оценки, сделанные выше, позволяют допускать, что сезонные изменения кажущегося сопротивления пород в скважине связаны с деформацией земной коры от переменной нагрузки Чиркейского водохранилища.

Выводы

1. Анализ численной оценки максимальной деформации ложе Чиркейского водохранилища на глубинах 100 м и 3000 м (центр водохранилища) в период максимальной сезонной нагрузки (паводок) составляет 2,2 мм и 0,95 мм, соответственно, а в районе плотины, где расположена наблюдательная скважина, – 1,2 мм и 0,65 мм.

2. Сделанные оценки деформации позволяют предположить, что сезонные изменения кажущегося сопротивления пород в скважине, которые имеют высокий коэффициент корреляции ($k = -0,82$) с изменением уровня воды водохранилища, обусловлены переменной нагрузкой Чиркейского водохранилища, возникающей в периоды весеннего паводка рек и его зимней разгрузки через турбины ГЭС.

Литература

1. Авагимов А. А. Динамика электромагнитных процессов в Копетдагском сейсмоактивном регионе. Автореферат, диссертации доктора физ.-мат. наук. М., 1991, С. 52.
2. Арефьев С. С., Идармачев Ш. Г., Идармачев А. Ш. Сейсмичность территории Дагестана за период 1960–2005 гг. Мониторинг природных катастроф. Сб. статей Института геологии Дагестанского НЦ РАН, Махачкала, 2010, вып. 56. С. 170–175.
3. Гупта Х., Растоги Б. Плотины и землетрясения. М.: Мир, 1979, 250 с.
4. Дейнега Г. И. Влияние переменных нагрузок на динамику деформационных процессов и вертикальных смещений земной коры в связи с эксплуатацией Чиркейского водохранилища. Вопросы сейсмичности Восточного Предкавказья. Сборник статей Института геологии Дагестанского филиала АН СССР. Махачкала, 1989, вып. 40, С. 51–58.
5. Идармачев Ш. Г., Черкашин В. И., Алиев И. А. и др. Возбужденная сейсмичность в районе Чиркейского водохранилища и ее проявления в геофизических полях. Институт геологии Дагестанского НЦ РАН, Махачкала, «Алеф», 2012. 103 с.
6. Идармачев И. Ш. Вариации кажущегося сопротивления массива горных пород верхнего мела в районе плотины Чиркейской ГЭС под воздействием переменной нагрузки // Вестник Дагестанского НЦ РАН, 2014, № 52, С. 11–16.
7. Каракин А. В., Идармачев Ш. Г., Асманов О. А. Фильтрационная модель сезонных изменений сейсмического режима района Чиркейского водохранилища // Изв. АН СССР. Физика Земли, 1990, № 6, С. 20–27.
8. Каримов Ф. Х., Прохоров А. А. О проявлении тектономагнитного эффекта в зоне Нурекского водохранилища. Прогноз землетрясений. Душанбе-Москва: Дониш, 1984, №5, С. 139–148.
9. Котляхов Ф. И. Физические свойства нефтяных и газовых коллекторов. М.: Недра 1977, 287 с.
10. Сулейманов А. И., Саидов О. А., Магомедов Б. А. Мониторинг геомагнитных полей в связи с техногенной сейсмичностью района водохранилища Чиркейской ГЭС. Мониторинг природных катастроф. Сборник статей Института геологии Дагестанского НЦ РАН, Махачкала, 2010, вып. 56. с. 217–225.
11. Devis P. M., Stacey F. D. Geomagnetic anomalies caused by a man-made // Nature. 1972, Vol. 240, No. 348, pp. 512–520.
12. Morrow C., Brace W.F. Electrical resistivity changes in tuffs due to stress // J. Geophys. Res. 1981, Vol. 86, N B4, pp. 2929–2934.
13. Rothe J. P. Seismic Artificials // Tectonophysics. 1970, Vol. 9, No. 2, pp. 215–238.
14. Simpson D.W. Introduction to Seismology // Cambridge University Press, Cambridge, 1999, pp. 123–150.
15. Timoshenko S., Goodier J.N. Theory of Elasticity. McGraw-Hill, London and New York. N. Y., 2nd ed., 1951, pp. 37–40.

TO THE QUESTION OF CRUSTAL DEFORMATION FROM SEASONAL LOAD WEIGHT CHIRKEI RESERVOIR

**© 2015 S. G. Idarmachev, Sc. Doctor (Phys.-Math.), V. I. Cherkashin, Sc. Doctor
(Geol.-Min.), M. A. Musaev, I. S. Idarmachev**

Institute of Geology, DSC RAS, 367030, 75, M. Yaragski st., Makhachkala, Russia,
e-mail: idarmachev@yandex.ru

The article presents an analysis of data continuous electrometric observations in the borehole located in the right side of the dam of the Chirkei hydroelectric power station for the period 2010–2013, which correlate with seasonal changes in water level in the reservoir. One of the mechanisms of the link between changes in water level in the reservoir and the apparent resistance of rocks can be deformation, i.e., the seasonal change of the load created by the weight of the reservoir leads to elastic deformation of the earth's crust. Numerical estimates show that the value of relative vertical crustal deformation in the area of the hydroelectric dam may reach values of $1,2 \times 10^{-5}$.

Keywords: water reservoir, the apparent resistivity, seasonal variations, deformation.

УДК 550.34

АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕЙСМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЗАСТРОЙКУ С ГРУНТОВЫМ ОСНОВАНИЕМ И СРАВНЕНИЕ РАСЧЕТНОЙ ОЦЕНКИ С ЧАСТОТНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ РЕАЛЬНЫХ СОБЫТИЙ

© 2015 К.С. Харебов, к.т.н., И.Д. Музаев, д.т.н., проф., Н.И. Музаев

Геофизический институт Владикавказского научного центра РАН, Россия,
362002, г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а, e-mail: cgi_ras@mail.ru.

В статье поставлена и решена многослойная контактная краевая задача сейсмических колебаний системы, состоящей из упруго-вязких слоев под застройкой. Краевая задача состоит из дифференциальных уравнений описывающих поперечные сдвиговые колебания слоев грунта. На каждой поверхности контакта слоев грунта дифференциальные уравнения взаимосвязаны двумя граничными условиями, выражающими равенство перемещений и касательных напряжений в смежных слоях грунта. Последний глубинный слой считается полуограниченным. На бесконечности ставится условие ограниченности перемещения и частных производных перемещения. Поставленная краевая задача решена методом суперпозиции прямых и отраженных волн. Получены расчетные формулы для амплитуд сейсмических колебаний каждого слоя, в том числе и для дневной поверхности. Составлена соответствующая программа расчета на компьютере. Проведена расчетная оценка частотных характеристик грунта при сейсмическом воздействии. Проведено сравнение результатов расчетов с частотными параметрами реальных землетрясений на реальных площадках.

Ключевые слова: контактная краевая задача, прямая и обратная волна, коэффициент затухания, круговая частота, сейсмические колебания, база данных, сильные движения, грунты, застройка.

Сейсмостойкость территориально распределенной застройки существенно зависит от податливости подфундаментного слоистого массива грунта. Для обеспечения сейсмостойкости застройки требуется постановка и решение краевой задачи контактного взаимодействия распределенной массы застройки и подфундаментных слоев грунта с разными физико-механическими и мощностными характеристиками. На рис. 1 представлена схематическая картина расположения распределенной застройки и подфундаментных слоев грунта.

Математической моделью сейсмических колебаний системы представленной на рис. 1 является следующая контактная краевая задача математической физики [Ворович и др., 1999; Заалишвили и др., 2007; Музаев И. и др., 2014; Хачиян, 2009]:

$$\frac{\partial^2 U_1}{\partial t^2} - a_1^2 \frac{\partial^2 U_1}{\partial x_1^2} - \beta a_1^2 \frac{\partial^3 U_1}{\partial t \partial x_1^2} = 0 \quad \text{при } 0 < x_1 < H_1,$$

$$\frac{\partial^2 U_2}{\partial t^2} - a_2^2 \frac{\partial^2 U_2}{\partial x_2^2} - \beta a_2^2 \frac{\partial^3 U_2}{\partial t \partial x_2^2} = 0 \quad \text{при } 0 < x_2 < H_2,$$

.....

$$\frac{\partial^2 U_{n-1}}{\partial t^2} - a_{n-1}^2 \frac{\partial^2 U_{n-1}}{\partial x_{n-1}^2} - \beta a_{n-1}^2 \frac{\partial^3 U_{n-1}}{\partial t \partial x_{n-1}^2} = 0 \quad \text{при } 0 < x_{n-1} < H_{n-1},$$

$$\frac{\partial^2 U_n}{\partial t^2} - a_n^2 \frac{\partial^2 U_n}{\partial x_n^2} - \beta a_n^2 \frac{\partial^3 U_n}{\partial t \partial x_n^2} = 0 \quad \text{при } 0 < x_n < \infty,$$

$$m \frac{\partial^2 U_1}{\partial t^2} - G_1 \frac{\partial U_1}{\partial x_1} - \beta G_1 \frac{\partial^2 U_1}{\partial t \partial x_1} = 0 \quad \text{при } x_1 = 0,$$

$$U_1|_{x_1=H_1} = U_2|_{x_2=0},$$

$$G_1 \frac{\partial U_1}{\partial x_1} \Big|_{x_1=H_1} + \beta G_1 \frac{\partial^2 U_1}{\partial t \partial x_1} \Big|_{x_1=H_1} = G_2 \frac{\partial U_2}{\partial x_2} \Big|_{x_2=0} + \beta G_2 \frac{\partial^2 U_2}{\partial t \partial x_2} \Big|_{x_2=0},$$

$$U_2|_{x_2=H_2} = U_3|_{x_3=0},$$

$$G_2 \frac{\partial U_2}{\partial x_2} \Big|_{x_2=H_2} + \beta G_2 \frac{\partial^2 U_2}{\partial t \partial x_2} \Big|_{x_2=H_2} = G_3 \frac{\partial U_3}{\partial x_3} \Big|_{x_3=0} + \beta G_3 \frac{\partial^2 U_3}{\partial t \partial x_3} \Big|_{x_3=0},$$

.....

$$U_{n-1}|_{x_{n-1}=H_{n-1}} = U_n|_{x_n=0},$$

$$G_{n-1} \frac{\partial U_{n-1}}{\partial x_{n-1}} \Big|_{x_{n-1}=H_{n-1}} + \beta G_{n-1} \frac{\partial^2 U_{n-1}}{\partial t \partial x_{n-1}} \Big|_{x_{n-1}=H_{n-1}} = G_n \frac{\partial U_n}{\partial x_n} \Big|_{x_n=0} + \beta G_n \frac{\partial^2 U_n}{\partial t \partial x_n} \Big|_{x_n=0},$$

$$G_i = \rho_i a_i^2, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

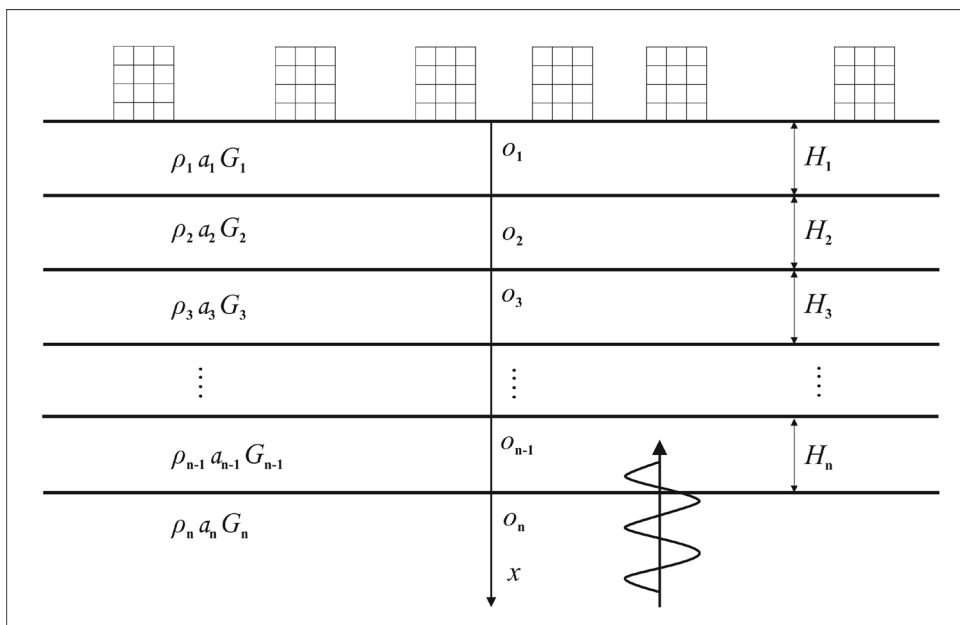


Рис. 1. Схема расположения распределенной застройки и подфундаментных слоев грунта.

где приняты следующие обозначения и предположения: t – время, x_1, x_2, \dots, x_n – вертикальные координаты, отсчитываемые от точек o_1, o_2, \dots, o_n . $U_i(x_i, t)$ – величины поперечных сдвиговых перемещений в i -том слое грунта, ρ_i, G_i, a_i – плотность, модуль сдвига и скорость распространения поперечной (сдвиговой) волны в i -м слое соответственно. H_1, H_2, \dots, H_n – мощности слоев, β – коэффициент внутреннего вязкого сопротивления, общий для всех слоев [Kinoshita, 2003], m – интенсивность распределенной массы от застройки на дневной поверхности первого слоя.

Легко заметить, что краевая задача записана в разных координатах x_i . Их начала берутся в точках o_1, o_2, \dots, o_n . Между координатами x_i имеются следующие зависимости

$$x_i = H_i + x_{i+1}$$

Такой нестандартный подход значительно упрощает путь решения поставленной краевой задачи.

Решения представленных дифференциальных уравнений можно представить в виде сумм прямых и обратных (отраженных) затухающих волн

$$\begin{aligned} U_1(x_1, t) &= e^{-\beta \frac{\omega^2}{2} t} \left(A_1 e^{i\omega \left(\gamma t + \frac{x_1}{a_1} \right)} + B_1 e^{i\omega \left(\gamma t - \frac{x_1}{a_1} \right)} \right) \\ U_2(x_2, t) &= e^{-\beta \frac{\omega^2}{2} t} \left(A_2 e^{i\omega \left(\gamma t + \frac{x_2}{a_2} \right)} + B_2 e^{i\omega \left(\gamma t - \frac{x_2}{a_2} \right)} \right) \\ U_n(x_n, t) &= e^{-\beta \frac{\omega^2}{2} t} \left(A_n e^{i\omega \left(\gamma t + \frac{x_n}{a_n} \right)} + B_n e^{i\omega \left(\gamma t - \frac{x_n}{a_n} \right)} \right) \\ \gamma &= \sqrt{1 - \beta^2 \frac{\omega^2}{4}} \end{aligned} \quad (1)$$

где: A_i, B_i – произвольные постоянные, определяемые в процессе удовлетворения граничных условий на дневной поверхности и на поверхности раздела слоев грунта. Считается, что n -ый слой грунта простирается до ∞ , где ставится условие ограниченности $U_n(x_n, t)$.

В процессе удовлетворения граничным условиям относительно постоянных A_i и B_i получается следующая система линейных алгебраических уравнений:

$$\begin{aligned} R_1 A_1 + R_2 B_1 &= 0, \\ A_1 e^{\frac{i\omega H_1}{a_1}} + B_1 e^{-\frac{i\omega H_1}{a_1}} &= A_2 + B_2, \\ k_1 \left(A_1 e^{\frac{i\omega H_1}{a_1}} - B_1 e^{-\frac{i\omega H_1}{a_1}} \right) &= A_2 - B_2, \\ A_2 e^{\frac{i\omega H_2}{a_2}} + B_2 e^{-\frac{i\omega H_2}{a_2}} &= A_3 + B_3, \\ k_2 \left(A_2 e^{\frac{i\omega H_2}{a_2}} - B_2 e^{-\frac{i\omega H_2}{a_2}} \right) &= A_3 - B_3, \end{aligned} \quad (2)$$

$$\dots\dots\dots,$$

$$A_{n-1}e^{\frac{i\omega H_{n-1}}{a_{n-1}}} + B_{n-1}e^{-\frac{i\omega H_{n-1}}{a_{n-1}}} = A_n + B_n,$$

$$k_{n-1} \left(A_{n-1}e^{\frac{i\omega H_{n-1}}{a_{n-1}}} - B_{n-1}e^{-\frac{i\omega H_{n-1}}{a_{n-1}}} \right) = A_n - B_n,$$

где:

$$R_1 = m \left(-\beta \frac{\omega^2}{2} + \gamma\omega i \right)^2 + G_1 \frac{i\omega}{a_1} \left(1 - \beta^2 \frac{\omega^2}{2} + \beta\gamma\omega i \right)$$

$$R_2 = m \left(-\beta \frac{\omega^2}{2} + \gamma\omega i \right)^2 - G_1 \frac{i\omega}{a_1} \left(1 - \beta^2 \frac{\omega^2}{2} + \beta\gamma\omega i \right) \quad (3)$$

$$k_i = \frac{G_i a_{i+1}}{G_{i+1} a_i} = \frac{\rho_i a_i}{\rho_{i+1} a_{i+1}}, i = 1, 2, \dots, n-1$$

В результате сложения и вычитания парных уравнений систему (2) можно привести к следующему компактному виду:

$$\left(m\omega + G_1 \frac{i}{a_1} \right) A_1 + \left(m\omega - G_1 \frac{i}{a_1} \right) B_1 = 0,$$

$$(1 + k_1) e^{\frac{i\omega H_1}{a_1}} A_1 + (1 - k_1) e^{-\frac{i\omega H_1}{a_1}} B_1 = 2A_2,$$

$$(1 - k_1) e^{\frac{i\omega H_1}{a_1}} A_1 + (1 + k_1) e^{-\frac{i\omega H_1}{a_1}} B_1 = 2B_2,$$

$$\dots\dots\dots,$$

$$(1 + k_{n-1}) e^{\frac{i\omega H_{n-1}}{a_{n-1}}} A_{n-1} + (1 - k_{n-1}) e^{-\frac{i\omega H_{n-1}}{a_{n-1}}} B_{n-1} = 2A_n,$$

$$(1 - k_{n-1}) e^{\frac{i\omega H_{n-1}}{a_{n-1}}} A_{n-1} + (1 + k_{n-1}) e^{-\frac{i\omega H_{n-1}}{a_{n-1}}} B_{n-1} = 2B_n,$$

Отметим, что из полученной системы алгебраических уравнений (4) сократились коэффициенты, связанные с вязким сопротивлением β . В систему (4) входит $2n-1$ алгебраических уравнений, а количество неизвестных $2n$, т. е. в нашем предположении система не замкнута. Однако система замыкается если считать заданной амплитуду падающей на последний слой сейсмической волны A_n . Тогда количество неизвестных коэффициентов A_i, B_i сравнится с количеством уравнений.

В результате решения системы (4) определяются значения искомым постоянных $A_1, A_2, \dots, A_{n-1}, B_1, B_2, \dots, B_n$ (A_n считается заданной). Все они прямо пропорциональны амплитуде падающей на нижний слой сейсмической волне (т. е. A_n). Эти коэффициенты подставляются в соответствующие выражения (1). Затем выделяем действительные части, т. е. $ReU_i(x_i, t)$.

В результате такой череды математических выкладок получаем последовательность функций $ReU_i(x_i, t)$, $i=1, 2, \dots, n$, которые описывают процессы сейсмических колебаний каждого слоя грунта в том числе и на дневной поверхности, т. е. $ReU_1(0, t)$.

Для 4-хслойного грунта поперечные (сдвиговые) колебания на дневной поверхности описываются следующими формулами:

$$y(t) = 4G_1 A_4 \frac{\omega}{a_1 \sqrt{\varphi_1^2 + \varphi_2^2}} e^{-\beta \frac{\omega^2}{2} t},$$

$$\varphi_1 = d_1(q_1 - p_1) - d_2(q_2 + p_2),$$

$$\varphi_2 = d_1(q_2 - p_2) + d_2(q_1 + p_1),$$
(5)

где:

$$d_1 = 2m\omega^2; d_2 = 2G_1 \frac{\omega}{a_1},$$

$$p_1 = \frac{1}{8}(z_1 \cos \omega \alpha_1 + z_2 \cos \omega \alpha_2 + z_3 \cos \omega \alpha_3 + z_4 \cos \omega \alpha_4),$$

$$p_2 = \frac{1}{8}(z_1 \sin \omega \alpha_1 + z_2 \sin \omega \alpha_2 + z_3 \sin \omega \alpha_3 + z_4 \sin \omega \alpha_4),$$

$$q_1 = \frac{1}{8}(z_5 \cos \omega \alpha_4 + z_6 \cos \omega \alpha_3 + z_7 \cos \omega \alpha_2 + z_8 \cos \omega \alpha_1),$$

$$q_2 = \frac{1}{8}(z_5 \sin \omega \alpha_4 + z_6 \sin \omega \alpha_3 + z_7 \sin \omega \alpha_2 + z_8 \sin \omega \alpha_1)$$

$$z_1 = (1+k_3)(1+k_2)(1+k_1), z_2 = (1+k_3)(1-k_2)(1-k_1)$$

$$z_3 = (1-k_3)(1-k_2)(1+k_1), z_4 = (1-k_3)(1+k_2)(1-k_1)$$

$$z_5 = (1+k_3)(1+k_2)(1-k_1), z_6 = (1+k_3)(1-k_2)(1+k_1)$$

$$z_7 = (1-k_3)(1-k_2)(1-k_1), z_8 = (1-k_3)(1+k_2)(1+k_1)$$

$$\alpha_1 = \frac{h_3}{a_3} + \frac{h_2}{a_2} + \frac{h_1}{a_1}, \alpha_2 = \frac{h_3}{a_3} - \frac{h_2}{a_2} + \frac{h_1}{a_1}$$

$$\alpha_3 = -\frac{h_3}{a_3} + \frac{h_2}{a_2} + \frac{h_1}{a_1}, \alpha_4 = -\frac{h_3}{a_3} - \frac{h_2}{a_2} + \frac{h_1}{a_1}$$

$$k_1 = \frac{\rho_1 a_1}{\rho_2 a_2}, k_2 = \frac{\rho_2 a_2}{\rho_3 a_3}, k_3 = \frac{\rho_3 a_3}{\rho_4 a_4}, G_1 = \rho_1 a_1^2$$

Для 2-хслойного грунтового массива вышепредставленные формулы сильно упрощаются и для y – амплитуды колебания на дневной поверхности получаем следующую формулу:

$$y = 2A_2 G_1 \frac{\omega}{a_1} e^{-\beta \frac{\omega^2}{2} t} \frac{1}{\sqrt{k_1^2 \left(m\omega^2 \cos \frac{\omega h}{a_1} + G_1 \frac{\omega}{a_1} \sin \frac{\omega h}{a_1} \right)^2 + \left(m\omega^2 \sin \frac{\omega h}{a_1} - G_1 \frac{\omega}{a_1} \cos \frac{\omega h}{a_1} \right)^2}},$$

$$k_1 = \frac{\rho_1 a_1}{\rho_2 a_2},$$

где A_2 – амплитуда подающей на нижний слой сейсмической волны.

При однослойном грунте получаем:

$$y = -2A_2 \frac{G_1}{a_1} \frac{e^{-\beta \frac{\omega^2}{2} t}}{\sqrt{m^2 \omega^2 + \frac{G_1^2}{a_1^2}}},$$

При $m=0$:

$$y = 2A_2 e^{-\beta \frac{\omega^2}{2} t}$$

Последняя формула показывает, что в начальный момент амплитуда выходящей на дневную поверхность волны увеличивается в два раза, а потом убывает во времени по экспоненциальному закону с декрементом затухания, равным $-\beta \frac{\omega^2}{2}$.

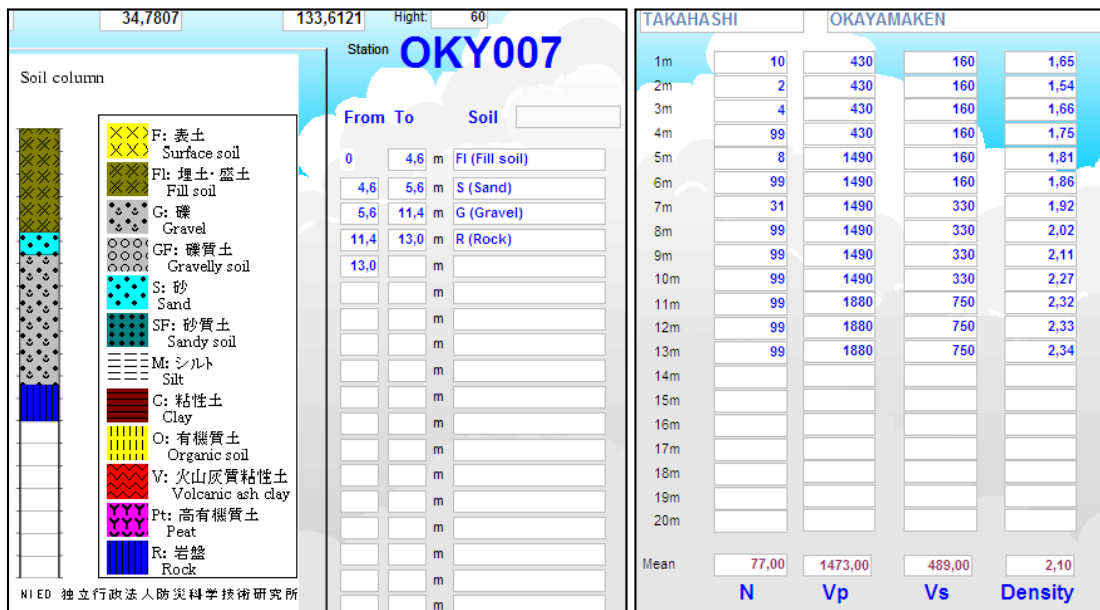


Рис. 2. Параметры грунтов станции OKY007.

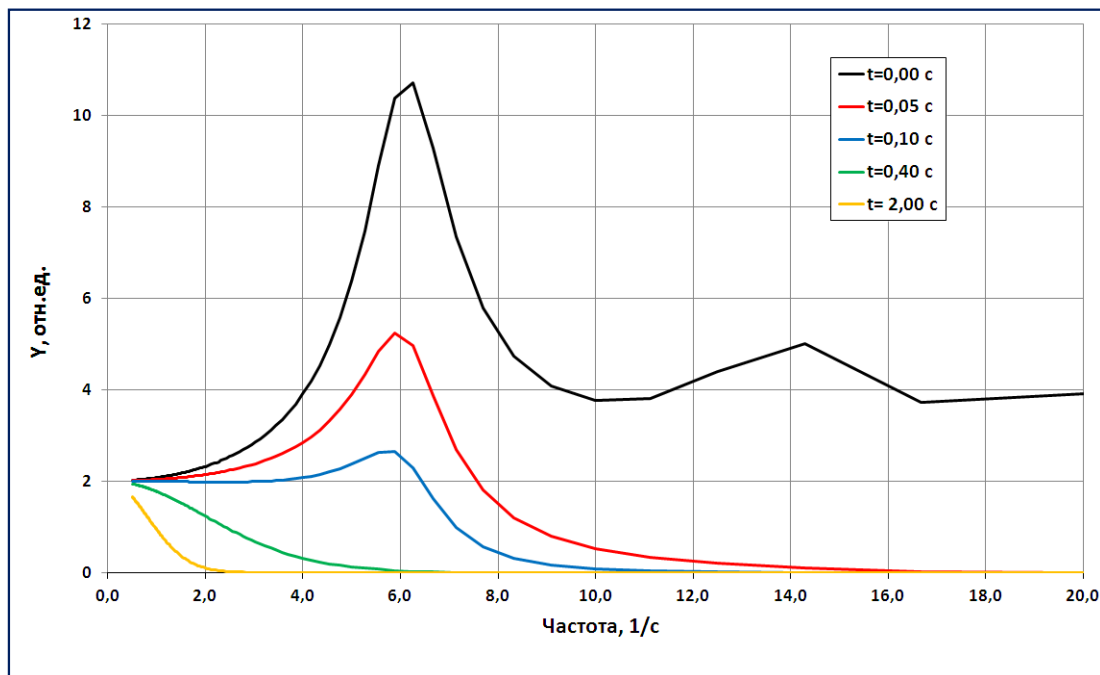


Рис. 3. Графики зависимости относительной амплитуды колебаний (Y) на дневной поверхности от частоты падающей сейсмической волны при различных значениях времени с начала колебаний (t). Данные грунта станции OKY007. Затухание 2%, масса застройки 0.

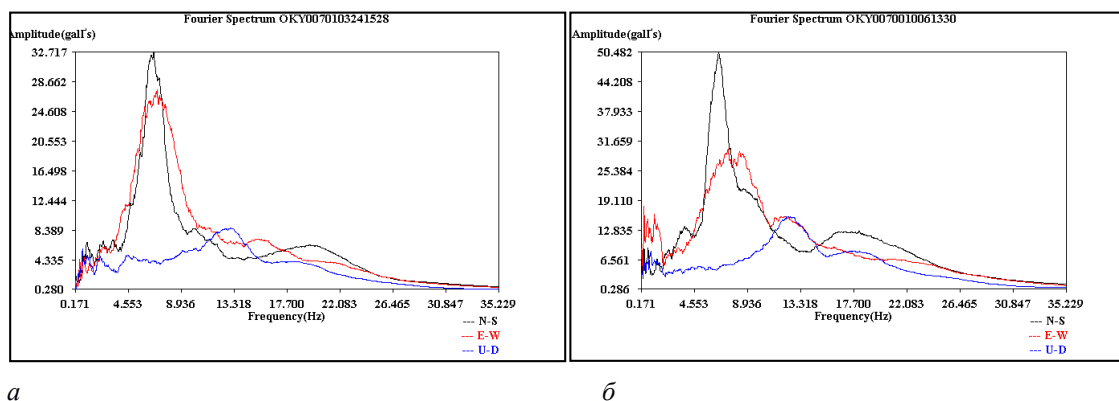


Рис. 4. Спектры Фурье для станции OKY007.

Рассмотрим возможности применения полученных формул для конкретных сейсмических событий. Мы будем использовать хорошо документированные сейсмические события японской системы KNET [Kinoshita, 2003], которые были систематизированы нами в базе данных [Заалишвили и др., 2014].

В качестве первого примера рассмотрим сейсмическую станцию OKY007 [Заалишвили и др., 2014] с четырехслойным грунтом: насыпной грунт – мощностью $H=4,5$ м, песок – мощностью $H=1,1$ м, гравий – $H=5,8$ м, скала – ниже 11,4 м (рис. 2). На рис. 2 также представлено распределение коэффициента пенетрации N , поперечной V_s и продольной V_p скоростей, и плотности D , по глубине грунта.

Расчеты зависимости относительной амплитуды колебаний (Y) на дневной поверхности от частоты падающей сейсмической волны при различных значениях времени с начала колебаний по формулам (5) представлены на рис. 3.

Из рис. 3 следует, что на данном грунте частота наибольшего сейсмического воздействия на застройку составляет около 6 Гц, причем степень воздействия быстро затухает со временем. Для того, чтобы убедиться в правильности проведенных расчетов рассмотрим спектры Фурье для конкретных событий на станции OKY007, которые представлены на рис. 4 для событий с датами 24.03.2001 15:28 (а) и 06.10.2000 13:30 (б) [Заалишвили и др., 2014]. Параметры событий представлены в табл. 1.

Из рис. 4а и 4б следует, что частота максимума спектра Фурье находится вблизи 6 Гц для горизонтальных компонент N-S и E-W, и для вертикальной компоненты около 13 Гц, что хорошо согласуется с данными рис. 3.

В качестве второго примера рассмотрим сейсмическую станцию TCG014 [Заалишвили и др., 2014] с следующим грунтом: глина с вулканическим пеплом – $H=5,7$ м, $V_s=240$ м/с, $D=1400$ кг/м³; глина – $H=1,0$ м, $V_s=290$ м/с, $D=1700$ кг/м³; гравий – $H=7,4$ м, $V_s=400$ м/с, $D=2000$ кг/м³; скала – $V_s=500$ м/с, $D=2000$ кг/м³. Для данного грунта график зависимости относительной амплитуды колебаний (Y) на дневной поверхности от частоты падающей сейсмической волны представлен на рис. 5.

Из рис. 5 следует, что на данном грунте частота наибольшего сейсмического воздействия на застройку составляет около 5–6 Гц и около 12 Гц, причем степень воздействия быстрее затухает со временем для высокочастотного пика. Для конкретных событий на станции TCG014 соответствующие спектры Фурье приведены на рис. 6 с датами: 15.11.2005 6:39 (а), 01.10.2009 19:43 (б), 11.03.2011 14:46 (в), 23.10.2004 18:03 (г). Параметры событий представлены в табл. 1.

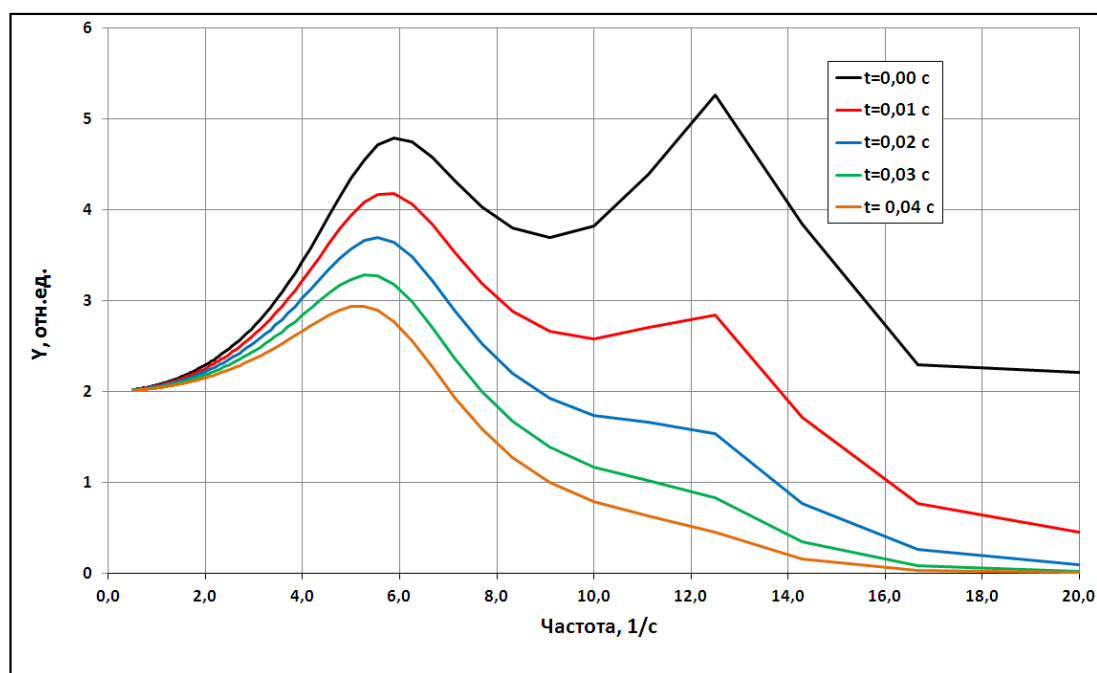


Рис. 5. Графики зависимости относительной амплитуды колебаний (Y) на дневной поверхности от частоты падающей сейсмической волны при различных значениях времени с начала колебаний (t). Данные грунта станции TCG014. Затухание 2%, масса застройки 0.

Таблица 1

Параметры рассмотренных событий

Станция	Дата события	Магнитуда	Интенсивность, балл	Эпицентральное расстояние, км	Макс. горизонтальное ускорение, гал
ОКУ007 (а)	24.03.2001 15:28	6,4	5,58	110,7	88
ОКУ007 (б)	06.10.2000 13:30	7,3	5,83	60,4	102
TCG014 (а)	15.11.2005 6:39	7,1	5,1	448	45
TCG014 (б)	01.10.2009 19:43	4,2	5,16	44,4	48
TCG014 (в)	11.03.2011 14:46	9	10,7	290	1275
TCG014 (г)	23.10.2004 18:03	6,3	5,51	139	68

Из рис. 6 а-г следует, что частота максимума спектра Фурье находится около 5 Гц для горизонтальных компонент N-SiE-W, и для вертикальной компоненты около 9 Гц. Для низкочастотного пика (5 Гц) горизонтальных компонент наблюдается хорошее согласие с данными рис. 5, а для быстро исчезающего высокочастотного пика расчетное значение ниже наблюдаемого в конкретном событии. Отметим, что для всех событий на станции TCG014 с интенсивностью более 5 баллов, а также для событий с эпицентральным расстоянием менее 3 км [Заалишвили и др., 2014], средняя величины частоты максимума спектра Фурье составила около 5 Гц. Исследование гистограммы распределения событий по частотам показало, что распределение – нормальное.

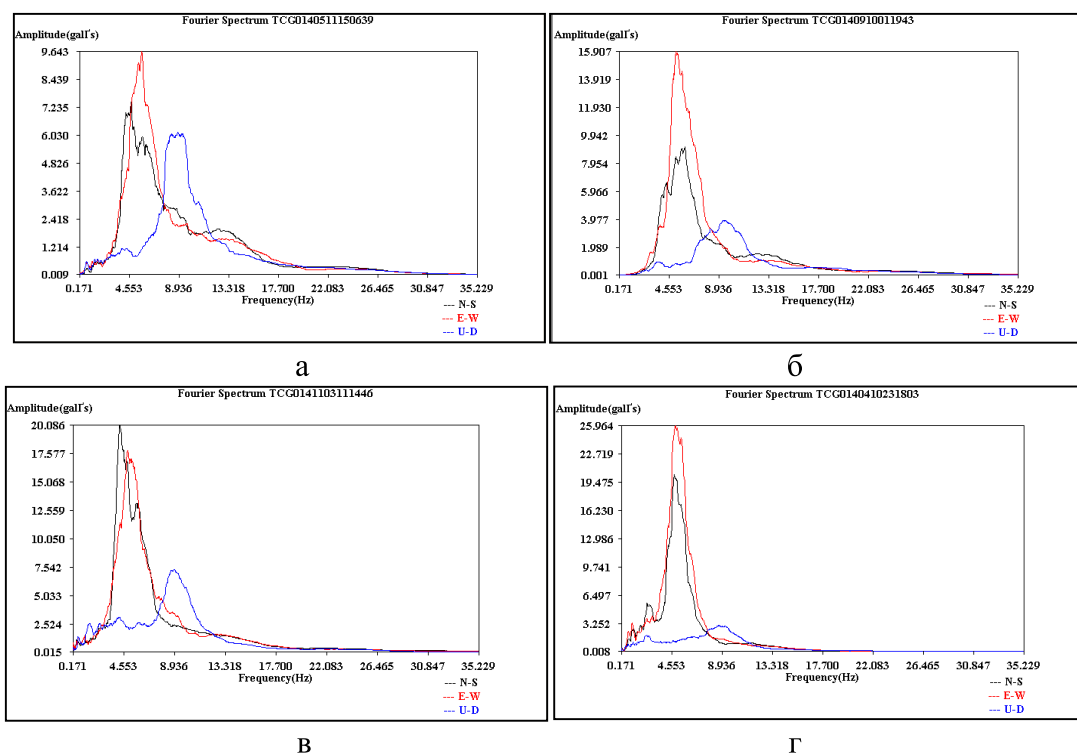


Рис. 6. Спектры Фурье для станции TCG014.

В качестве третьего примера рассмотрим сейсмическую станцию IBR003 [Заалишвили и др., 2014] со следующими параметрами грунтов: насыпной грунт – $H=1,7\text{ м}$, $V_s=100\text{ м/с}$, $D=1440\text{ кг/м}^3$; глина с вулканическим пеплом – $H=2,1\text{ м}$, $V_s=100\text{ м/с}$, $D=1440\text{ кг/м}^3$; песок – $H=13,5\text{ м}$, $V_s=320\text{ м/с}$, $D=1900\text{ кг/м}^3$; скала – $V_s=530\text{ м/с}$, $D=2000\text{ кг/м}^3$. Для данного грунта график зависимости относительной

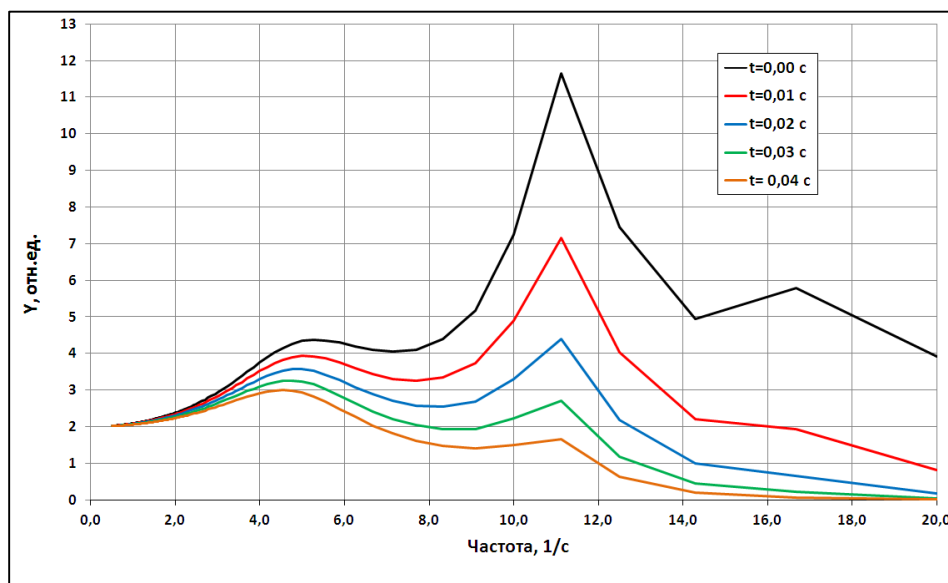


Рис. 7. Графики зависимости относительной амплитуды колебаний (Y) на дневной поверхности от частоты падающей сейсмической волны при различных значениях времени с начала колебаний (t). Данные грунта станции IBR003. Затухание 2%, масса застройки 0.

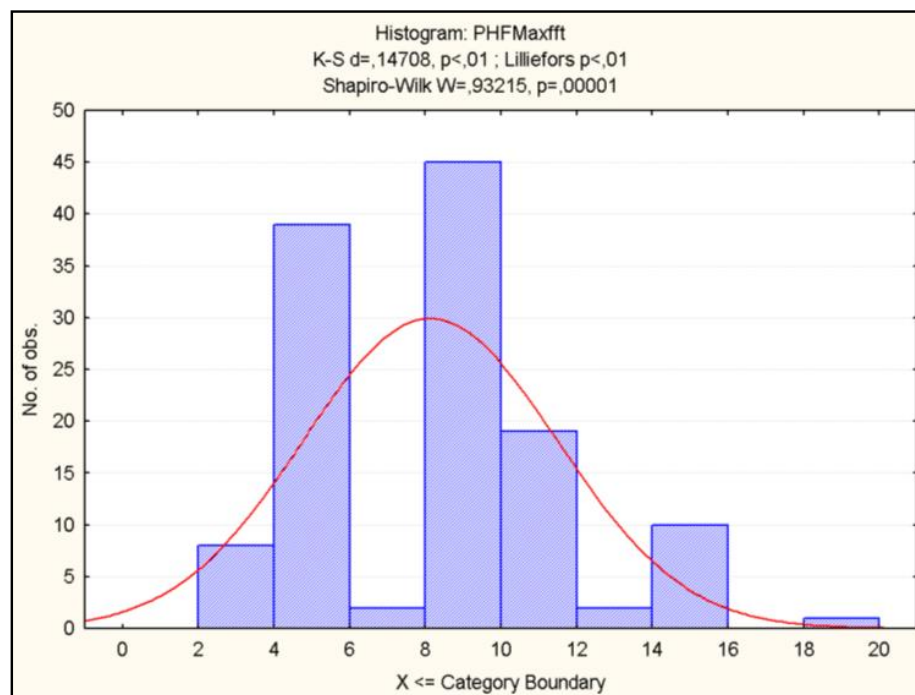


Рис. 8. Распределение частот максимума спектра Фурье станции IBR003.

амплитуды колебаний (Y) на дневной поверхности от частоты падающей сейсмической волны представлен на рис. 7.

Из рис. 7 следует, что на данном грунте частота наибольшего сейсмического воздействия на застройку составляет около 5 Гц и около 11 Гц, причем степень воздействия быстрее затухает со временем для высокочастотного пика 11 Гц.

Для всех событий на станции IBR003 записанных системой KNET (126 случаев) с интенсивностью более 5 баллов [Заалишвили и др., 2014], средняя величины частоты максимума спектра Фурье составила около 8 Гц, исследование гистограммы распределения событий по частотам показало, что распределение – нормальное (рис. 8).

Из рис. 8 видно, что частота максимума спектра Фурье имеет два пика: около 5 Гц и около 10 Гц, что соответствует рис. 7, наблюдается четкое соответствие наших расчетов частотных характеристик и реальных параметров конкретных событий.

Аналогичные сопоставления были проделаны и для других станций. Результаты показали соответствие расчетов параметрам реальным событиям.

Отметим, что анализ полученных теоретических расчетов позволяет сделать важное заключение о том, что при высоких частотах сейсмического колебания в эпицентре, волна практически не распространяется к поверхности. Например при $\omega=16\pi-20\pi$, коэффициент вязкого сопротивления:

$$\beta \frac{\omega^2}{2} = 25,3 \div 39,5$$

В этом случае сейсмическая волна затухает за несколько долей секунды из-за высокого значения коэффициента затухания, причем высокочастотные пики затухают быстрее (рис. 3, 5, 7). Данный эффект подтверждается реальными спектрами Фурье (рис. 4, 6, 8), где наблюдается уменьшение доли высокочастотных колебаний.

Заключение

Поставлена и решена многослойная контактная краевая задача сейсмических колебаний системы, состоящей из упруго-вязких слоев под застройкой. Для расчета на компьютере запрограммированы расчетные формулы для амплитуд сейсмических колебаний каждого слоя. В результате получены зависимости относительной амплитуды колебаний на дневной поверхности от частоты приходящей сейсмической волны для различных времен с начала колебаний. Сравнение результатов расчетных оценок амплитудно-частотных характеристик грунтов конкретных площадок с амплитудно-частотными параметрами реальных сейсмических событий на этих площадках показало их хорошее совпадение, что подтверждает правильность расчетного решения поставленной задачи определения частотных характеристик грунта.

Литература

1. Ворович И.И., Бабешко В.А., Пряхина О.Д. Динамика массивных тел и резонансные явления в деформируемых средах. -М.: Научный Мир, 1999, 246с.
2. Заалишвили В.Б., Музаев И.Д., Туаева Ж.Д. Математическое моделирование сейсмических колебаний грунтовой толщи в основании застройки // Труды международной научно-практической конференции «Опасные природные и техногенные геологические процессы на горных и предгорных территориях Северного Кавказа». Владикавказ, 2007. с. 290–298.
3. Музаев И.Д., Музаев Н.И., Харебов К.С. Постановка и решение многослойной краевой задачи сейсмических колебаний высотного сооружения. // Сейсмическое строительство, безопасность сооружений. №01, 2014, с. 22–25.
4. Хачиян Э.Е. Задача усиления или ослабления эффекта сейсмического воздействия на поверхности земли // Вестник ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко «Исследования по теории сооружений» № 1 (XXVI). -М.: 2009. с. 67–80.
5. Kinoshita S. Kyoshin Net (K-NET), Japan. Int. Handbook of Earthquake and Engineering seismology, v. 81B, 2003, pp. 1049–1056.
6. Заалишвили В.Б., Харебов А.К., Харебов К.С. База данных сильных движений «SMDBCGI», Свидетельство о гос. регистрации базы данных №2014621429 от 10.10.2014

AMPLITUDE – FREQUENCY CHARACTERISTICS OF SEISMIC IMPACT ON THE BUILDING WITH THE GROUND BASE AND THE COMPARISON OF THEORETICAL ESTIMATION WITH THE REAL EVENTS FROM THE DATA BASE SMDB CGI

© 2015 K.S. Kharebov, Sc. Candidate (Tech.), I.D. Muzaev, Sc. Doctor (Tech.), prof., N.I. Muzaev

GPI VSC RAS, Russia, 362002, Vladikavkaz, Markov str., 93 a,
e-mail: cgi_ras@mail.ru.

The multilayer contact boundary-value problem of the seismic vibrations of the system, consisting of the elastic-viscous layers under the building, is set and solved. Boundary-value problem consists of n differential equations describing transversalshear vibrations of soil layers. On each contact surface of soil layers differential equations are interconnected by two boundary conditions, which express the equality of displacements and shearing stresses in the adjacent of soil layers. The last deep layer is considered semi-bounded. At infinity the limitedness of displacement and partial derivatives of displacement is stipulated. The presented boundary-value problem is solved by the method of the forward and reflected waves superposition. Calculation formulas for the seismic vibrations amplitudes of each layer, including for the ground surface are obtained. The corresponding program of calculation on the computer is created. The frequency characteristics evaluation of the seismic impact on the building is carried out. The comparison of results with the parameters of real earthquakes from the data base SMDB CGI is carried out.

Key words: contact boundary-value problem, forward and reverse wave, damping factor, circular frequency, seismic vibrations, data base, strong motions, ground, building.

550.344.6

СТРУКТУРА БОЛЬШОГО КАВКАЗА – РЕЗУЛЬТАТ ПОЛОГОГО НАДВИГА ЗЕМНОЙ КОРЫ СКИФСКОЙ ПЛИТЫ НА КОНСОЛИДИРОВАННУЮ КОРУ МИКРОПЛИТ ЮЖНОГО КАВКАЗА

© 2015 А.Г. Шемпелев^{1,3}, к.г.-м.н., С.У. Кухмазов², Х.О. Чотчаев³,
Л.Н. Невский³

¹ОАО «Кавказгеолсъёмка», 357600, г. Ессентуки,
ул. Кисловодская, 203, shemp38@yandex.ru;

²ООО «Сей-Эко-Геон», 357623, Ставропольский край,
г. Ессентуки, ул. Нагорная, д 24, кв 4;

³Геофизический институт ВНЦ РАН (ГФИ ВНЦ РАН), Россия, 362002,
г. Владикавказ, ул. Маркова, 93 а, e-mail: cgi_ras@mail.ru

Приводятся краткие сведения о пересечениях глубинными геофизическими исследованиями структуры Большого Кавказа и результаты работ последних лет вдоль Адыгейского профиля (Дагомыс – Абадзехская – Гиагинская), где впервые с равномерным шагом наблюдений получена комплексная геофизическая характеристика разреза земной коры в крест всей структуры орогена. На основании фактических материалов МОВЗ, МТЗ и гравимагнитных съёмок выделяются отдельные элементы структуры Большого Кавказа, как части Альпийского коллизионного пояса, очевидно возникшей при пологом надвиге с севера земной коры Скифской плиты на консолидированную кору закавказских микроплит.

Ключевые слова: Большой Кавказ, Главный Кавказский надвиг, Адыгейский профиль, глубинные геофизические исследования.

История глубинных геофизических исследований Большого Кавказа

Большой Кавказ, как структура Альпийского складчатого (коллизионного) пояса, представляет собой одну из сложнейших в геологическом отношении складчатых областей и является наиболее плотно изученной территорией России, хотя вопросов, касающихся модели глубинного строения земной коры остается больше, чем решенных.

Основным источником информации о тектонике, литологии и стратиграфии земной коры и морфологии поверхности верхней мантии региона являются результаты глубинных сейсмических зондирований (ГСЗ), сейсмологических исследований методом обменных волн далёких землетрясений (МОВЗ) и специализированных гравиметрических и магнитометрических наблюдений регионального масштаба.

Первые ГСЗ на Кавказе были выполнены Министерством геологии СССР в начале 60-х годов прошлого столетия по двум пересечениям структуры Большого Кавказа вдоль профилей Степное – Бакуриани [Юров, 1963; Шевченко, 1969] и Волгоград – Нахичевань [Краснопевцева и др., 1967, 1970] (рис. 1). Они были отработаны многоканальными сейсмическими станциями при расстояниях между

приёмниками, в основном, 100–200 м. Материалы по профилям, кусочно-прерывистым в горной части территории, имели сложную неоднозначно интерпретируемую волновую картину. Причём в 60–70-е годы прошлого столетия была использована лишь незначительная часть зарегистрированной информации. Профили Степное – Бакуриани и Волгоград – Нахичевань так и остались до настоящего времени единственными пересечениями Большого Кавказа методом ГСЗ. Поскольку полученные по ним фактические материалы не противоречат концепции тектоники литосферных плит [Хаин, 1982], волновые картины, в качестве предположений, интерпретированы как проявления вдоль Главного Кавказского надвига зоны сопряжения (реликтовый рубец) земной коры Скифской эпигерцинской плиты (составной части Скифско-Туранской платформы) с коллажем микроплит-террейнов, обрамляющих с севера Аравийскую плиту [Шемпелев, 1978, 1982].

В Центральной части реликтовый рубец или Мамисон-Казбекская геосутура представляется выполненной тектонизированным терригенным материалом, содержащим разного размера глыбы и блоки вулканогенно-осадочных пород и пород офиолитового комплекса. Его положение в общей структурно-тектонической схеме Центральной части Большого Кавказа представлено на рис. 2, обобщенное в тематической работе по составлению специализированной геологической основы масштаба 1:50000 для прогнозно-металлогенической карты Горной Осетии [Ольховский, Тибилев, 1998], где использованы данные региональных гравиметрических и сейсмологических исследований разных лет. Характерный геологический разрез Центральной части Большого Кавказа в меридиональном направлении представлен на рис. 3.

По мнению исследователей Осетинского сектора Центральной части Большого Кавказа, сопряжение Скифской эпигерцинской плиты с коллажем южных микроплит-террейнов является окраинно-континентальным типом субдукции, при которой происходит подвигание микроплит под кристаллический фундамент Скифской эпигерцинской плиты.

Результатам ГСЗ по профилям Степное – Бакуриани и Волгоград – Нахичевань и их интерпретации с разных геотектонических позиций до сих пор посвящается много публикаций.

В последующие годы практически отказались от довольно информативных, но дорогостоящих глубинных сейсмических зондирований по методике непрерывного сейсмического профилирования. Однако справедливо отметить, что старые материалы глубинных сейсмических зондирований, содержат часто более высокую детальность и информативность, чем результаты современных исследований с шагом в несколько километров между приёмниками. Это отмечают Е. П. Баранова, Г. А. Павленкова и другие авторы, занимающиеся переинтерпретацией данных ГСЗ прежних лет по ряду профилей юга Европейской части России с применением новых компьютерных технологий [Павленкова, 2012].

К последним, в частности, относится метод обменных волн землетрясений, использованный впервые в опытном порядке в шестидесятые годы прошлого века ВНИИГеофизикой со станциями «Земля» в Краснодарском крае.

Этот метод разведочной сейсмологии основан на использовании обменных преломленных волн естественных землетрясений. На границах внутри земной коры и верхней мантии при преломлении сейсмических волн возникают обменные PS-волны достаточно большой интенсивности. По разности времён прихода в пункт

регистрации первичной (продольной или поперечной) и обменной (продольно-поперечной или поперечно-продольной) волн определяются элементы залегания границ раздела. Преимущество метода обменных волн землетрясений в том, что он использует кинематические и динамические характеристики обменных волн и не зависит от точного знания положения очага землетрясения, времени его возникновения и абсолютных времён прихода волн. К сожалению, первые исследования МОВЗ имели основной недостаток – выделяемые многочисленные площадки обмена волн часто не коррелировались между точками наблюдений, то есть глубинные поверхности раздела уверенно не прослеживались.

После упомянутых выше геофизических работ, которые поставили больше вопросов, чем дали ответов о глубинном строении Большого Кавказа, организациями Мингео СССР составлялись программы комплексных исследований орогена по пересечениям Ереван – Тбилиси – Элиста и Махачкала – Белоканы. Но распад Советского Союза, возникновение государственной границы, практически, вдоль зоны Главного Кавказского надвига остановили их выполнение. Были отработаны лишь фрагменты этих профилей на территории России (Владикавказ – Левокумское и Махачкала – Тлярата). В середине 80-х годов прошлого столетия методом обменных волн землетрясений, но уже с аппаратными комплексами «Черепеха», отработывается серия профилей на Центральном Кавказе в Приэльбрусье, а также в предгорьях Дагестана и Чечено-Ингушетии. Все эти профили располагаются севернее зоны Главного Кавказского надвига, определяющего структуру Большого Кавказа, и содержат незначительный объем информации для её характеристики.

В последние годы на территории Северного Кавказа осуществляется комплексный подход к глубинным исследованиям, включающий методы обменных волн землетрясений, магнитотеллурические зондирования (МТЗ) и использование материалов ранее выполненных гравиметрических и магнитометрических съёмок.

Методы магнитотеллурических зондирований и обменных волн землетрясений являются относительно более доступным комплексом исследований глубинного строения регионов, чем МОГТ или ГСЗ. Сейсмологические границы, электрические и гравимагнитные характеристики модели дают представление о возможной структуре и вещественном составе разреза земной коры и верхней мантии. Так были отработаны Туапсинский, Кубанский и Приэльбрусский региональные профили антикавказского направления, несколько субмеридиональных и субширотных профилей на территории Осетии, а также в Предкавказье.

По Туапсинскому и Приэльбрусскому профилям (рис. 1), южные окончания которых находятся в пределах зоны Главного Кавказского надвига, геофизическими методами были зафиксированы некоторые глубинные элементы зоны сопряжения по этому надвигу северной и южной плит [Шемпелев и др., 2002, 2005]. Туапсинский профиль пересекает западную часть Центрального Кавказа. Полученные геофизические параметры дали возможность предполагать наличие зоны сопряжения земной коры Скифской плиты с Черноморской микроплитой, вероятно, представляющей собой реликт субокеанической базальтовой коры океана Тетис [Шемпелев и др., 2002]. Орогенное сооружение Кавказа в западной его части вдоль Туапсинского профиля по геофизическим данным впервые представляется в виде субвертикального блока коромантийной смеси при отсутствии внутри его границы Мохо.

Южную периферию земной коры Скифской плиты, претерпевшую альпийский орогенез, в центральной части Северного Кавказа пересекает субмеридиональный

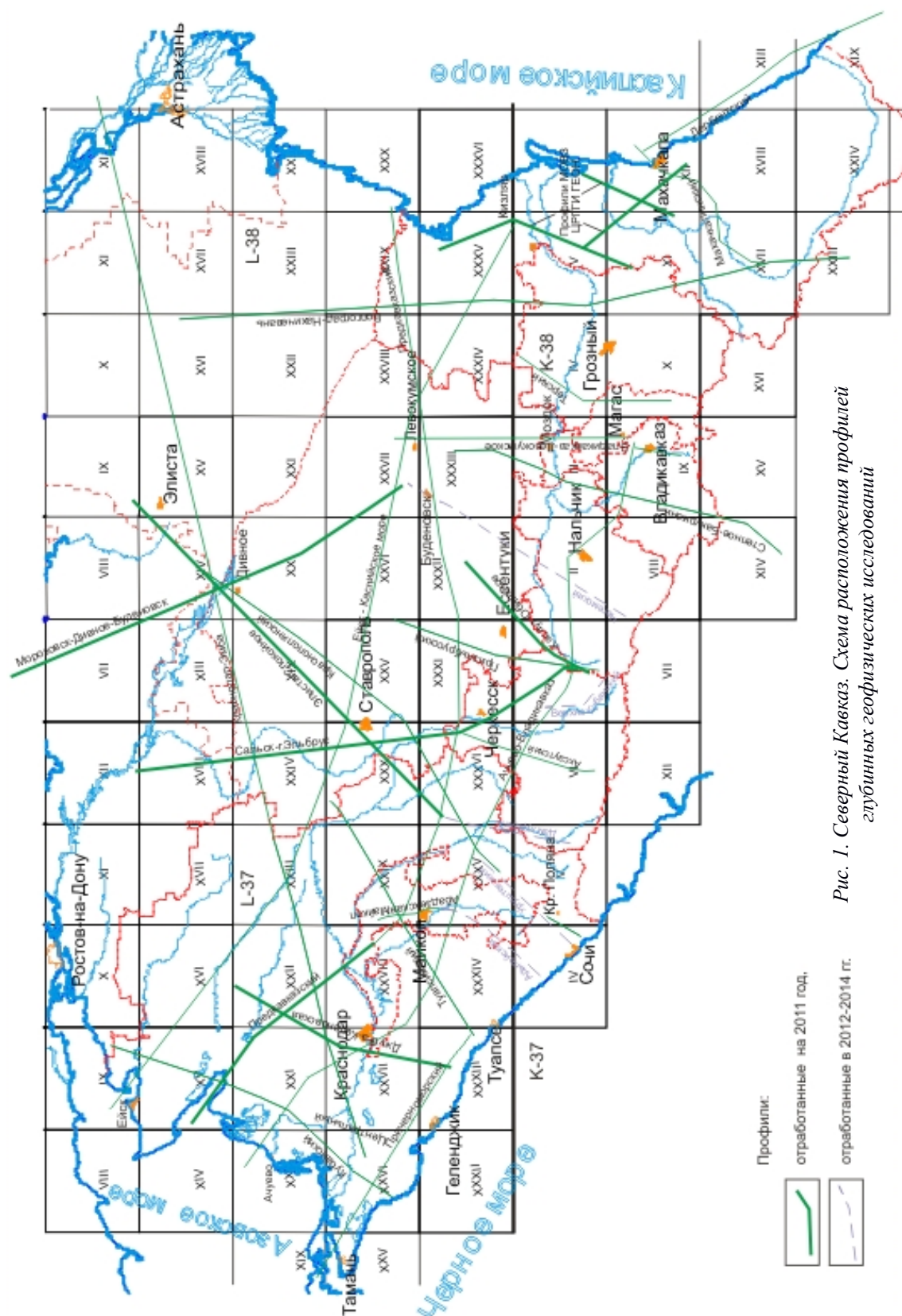




Рис. 2. Взаимоотношение микролит и структурно-тектонических зон Центральной части Кавказа на территории Северной Осетии. Условные обозначения: Микролиты – террейны: 1. Прекавказская; 2. Бечасынская; 3. Восточно-Кавказская; 4. Закавказская. Структурно-тектонические зоны: 5. Мамисон-Казбекская (реликтовая зона); 6. Владикавказская котловина; 7. Северная моноклиналь; 8. Главного хребта (1 – Махерская и 2 – Кассарская подзоны); 9. Дигоро-Осетинская; 10. Ардон-Дарьяльская; 11. Южного склона; 12. Чиаурская; 13. Контакты; (1 – микролит-террейнов, 2 – структурно-тектонических зон); 14. Границы: (1 – республик, 2 – государственные).

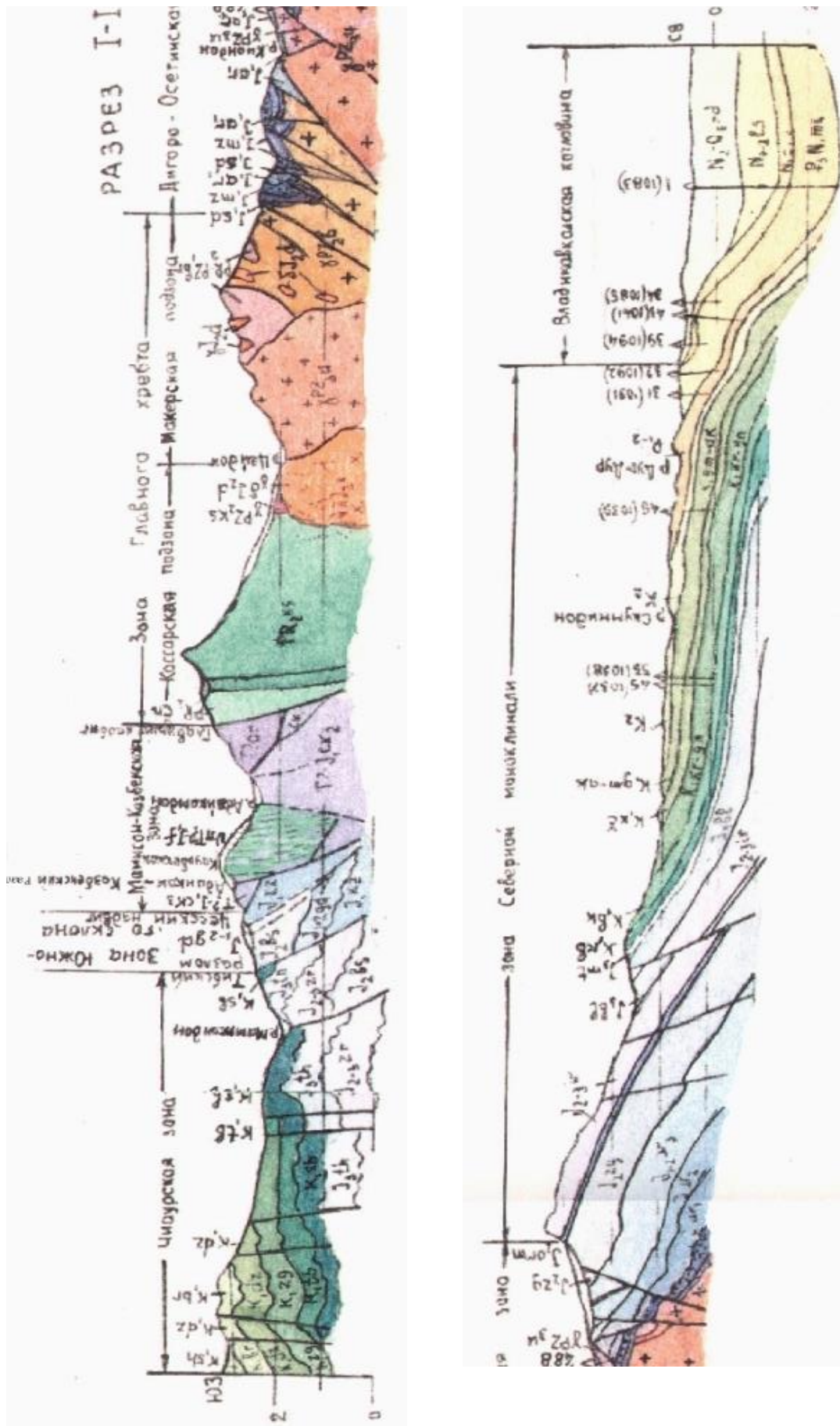


Рис. 3. Геологический разрез Центральной части Большого Кавказа в меридиональном направлении.

Приэльбрусский профиль [Шемпелев и др., 2005]. Здесь в процессе коллизии произошло значительное увеличение мощности консолидированной коры. В южной части профиля в геофизических полях локализуются зона Главного Кавказского надвига и приуроченная к ней вулканическая постройка Эльбруса с предполагаемыми очагом и камерой.

В 2012–14 годах ОАО «Кавказгеолсъёмка» совместно с ООО «Сей-Эко-Геон» и ЗАО ГНПП «Аэрогеофизика» были выполнены глубинные геофизические исследования по нескольким профилям на отдельных недостаточно изученных участках Центрального Кавказа с целью завершения создания относительно равномерной сети региональных профилей в качестве основы в дальнейшем для детального сейсмического районирования территории. Ниже приводятся результаты работ по одному из этих профилей – Адыгейскому, где впервые получена комплексная геолого-геофизическая характеристика глубинного разреза в крест всей структуры Большого Кавказа с равномерным шагом наблюдений, в том числе в условиях высокогорного рельефа. Эти материалы демонстрировались на Международной научной конференции по морской геологии в 2013 г. [Шемпелев и др., 2014] и XLVI Тектоническом совещании в 2014 г. [Шемпелев и др., 2013].

Результаты геофизических исследований вдоль Адыгейского профиля

Адыгейский профиль (Дагомыс – Абадзехская – Гиагинская) пересекает Большой Кавказ от Чёрного моря в северо-восточном направлении через горный перевал Фишт вдоль р. Белой до города Майкоп и далее до станицы Гиагинская (рис. 4). Согласно широко принятой в последнее время схеме тектонического районирования региона Адыгейский профиль начинается в пределах Складчатых зон южного склона, пересекает основные структуры Большого Кавказа (поднятия Главного и Передового хребтов, Северокавказскую моноклинали) и заканчивается в зоне Предкавказских краевых прогибов. Гравитационное поле вдоль Адыгейского профиля представлено графиком Δg и разрезом эффективной плотности (рис. 5). Оно имеет в целом повышенные значения для южной половины профиля, в том числе над Главным хребтом Большого Кавказа, что не типично для горных районов, и уменьшается в пределах 80 мГал к северу в сторону Предкавказских прогибов. Магнитное поле, практически, над всей зоной Главного хребта характеризуется пониженными значениями. В то же время Адыгейский профиль, отличается значительной намагниченностью горных пород верхней части геологического разреза Складчатых зон южного склона и поднятия Передового хребта (см. график $(\Delta T)_a$ и разрез эффективной намагниченности на рис. 5).

Что касается геоэлектрических разрезов по данным магнитотеллурических зондирований, то из практики известна значительная сложность выделения субгоризонтальных геологических границ с увеличением глубины. А поверхность Мохо часто фиксируется фрагментарно или вообще не находит своего отражения. Блоковый характер геоэлектрического разреза на больших глубинах, вероятно, обусловлен формальной нормализацией кривых при обработке результатов измерений из-за невозможности учёта влияния даже крупных глубинных неоднородностей. Обычно отмечаемое на геоэлектрических разрезах МТЗ резкое проявление по латерали вертикальной полосчатости требует дальнейшего изучения. Подобная картина наблюдается и на Адыгейском профиле (рис. 6). В то же время комплексы горных пород

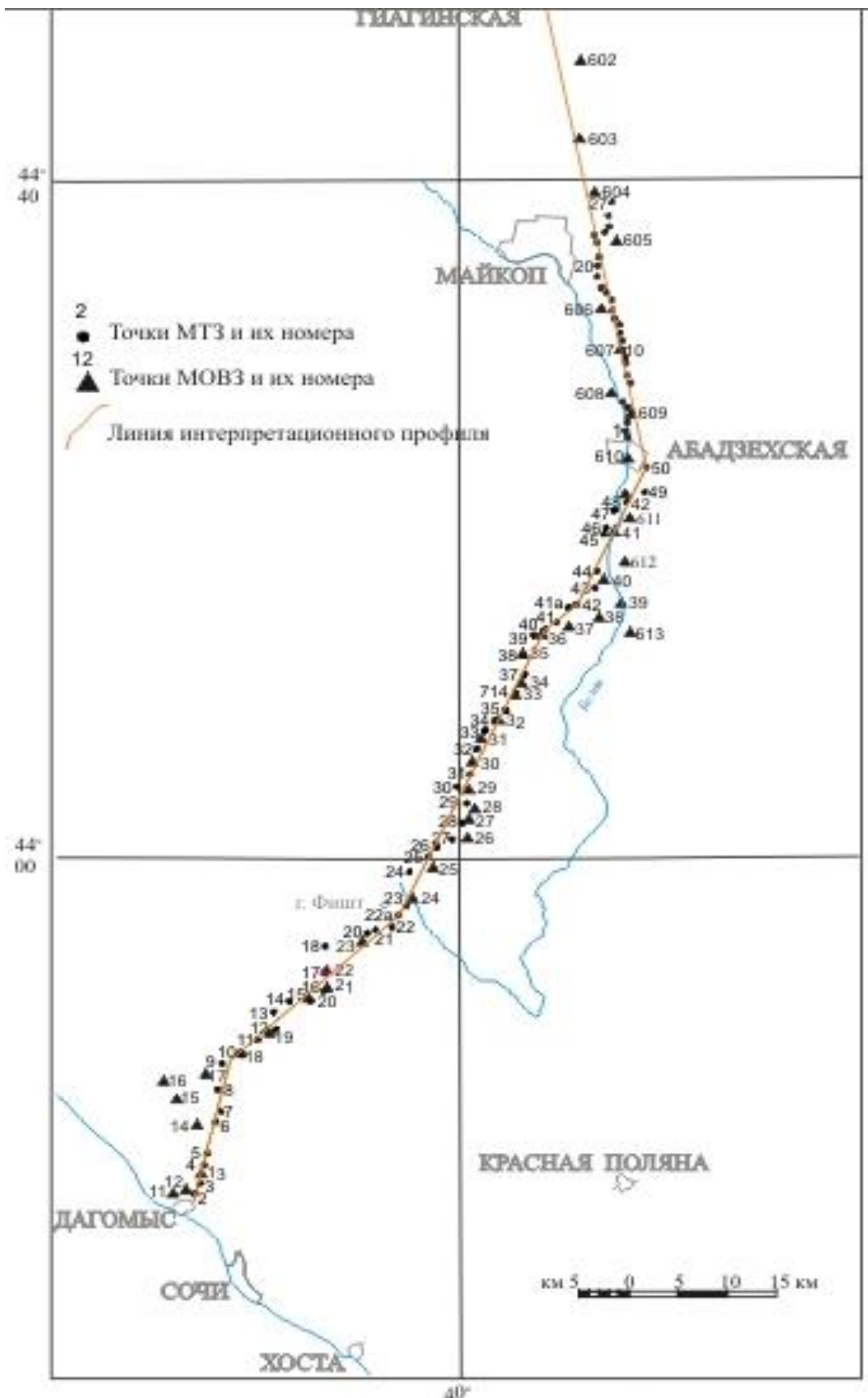
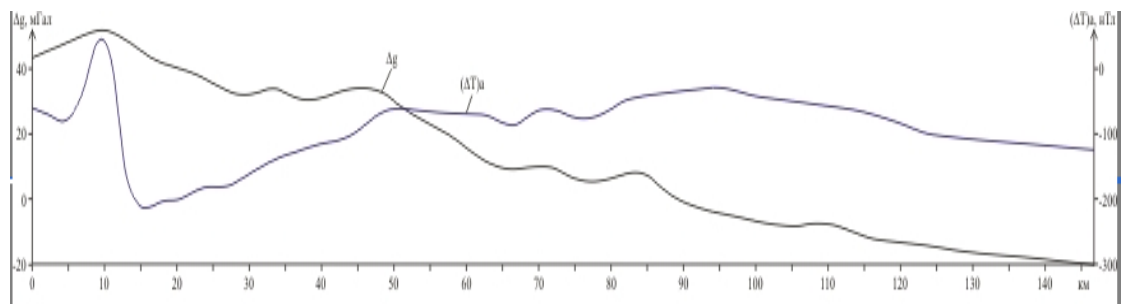
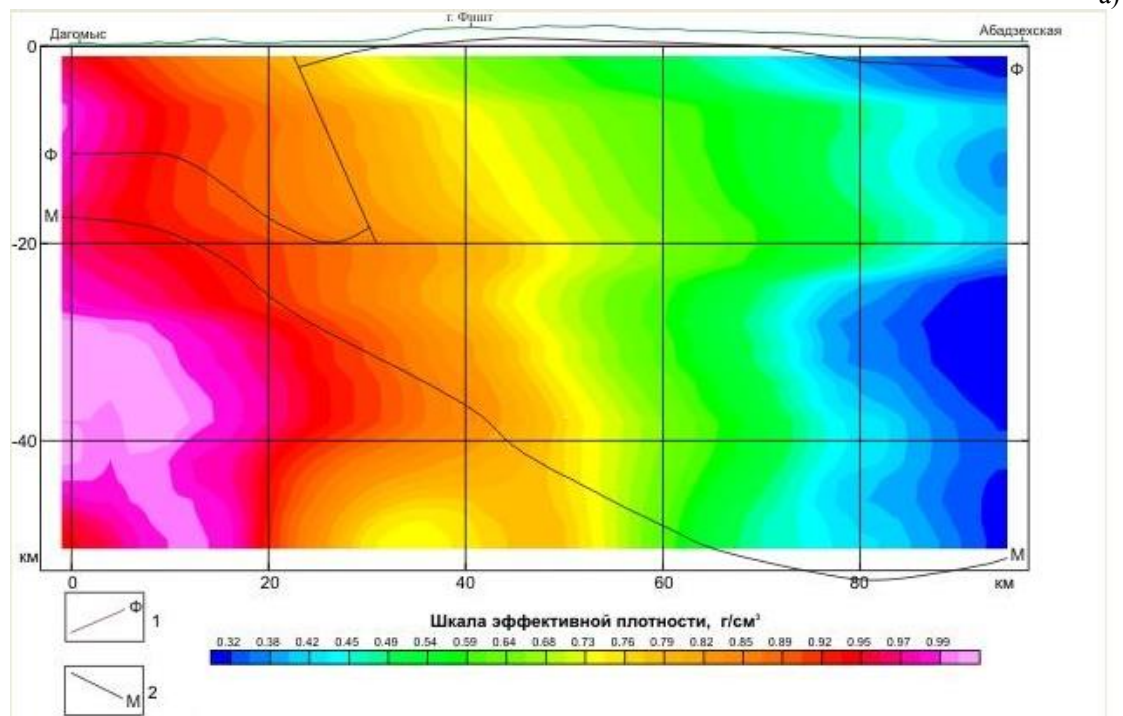


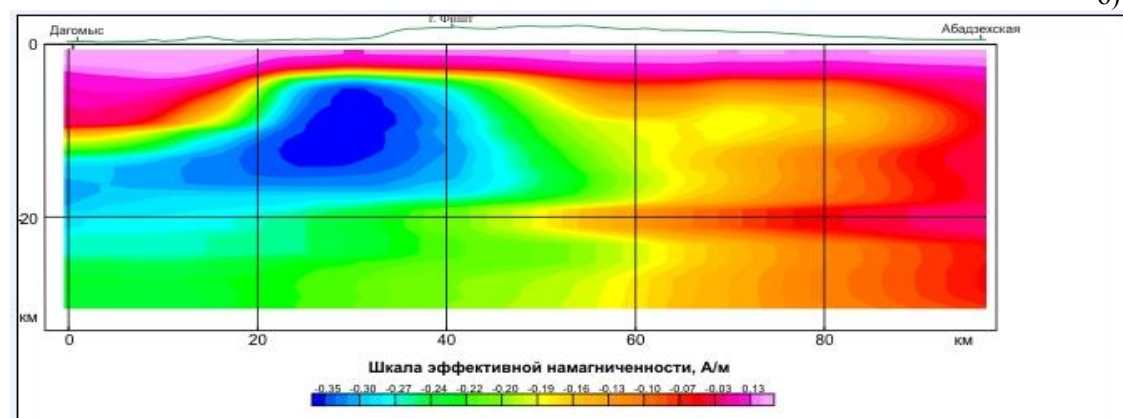
Рис. 4. Схема расположения точек геофизических наблюдений МОВЗ и МТЗ



а)



б)



в)

Рис. 5. а) Графики гравитационного (Δg) и магнитного (ΔT) полей;
 б) Разрез эффективной плотности: 1 – поверхность кристаллического фундамента по данным ГДП-200 и МОВЗ, 2 – поверхность МОХО по данным МОВЗ (Агеев С. Н.);
 в) Разрез эффективной намагниченности. Поверхность кристаллического фундамента по данным ГДП-200 и МОВЗ (Агеев С. Н.)

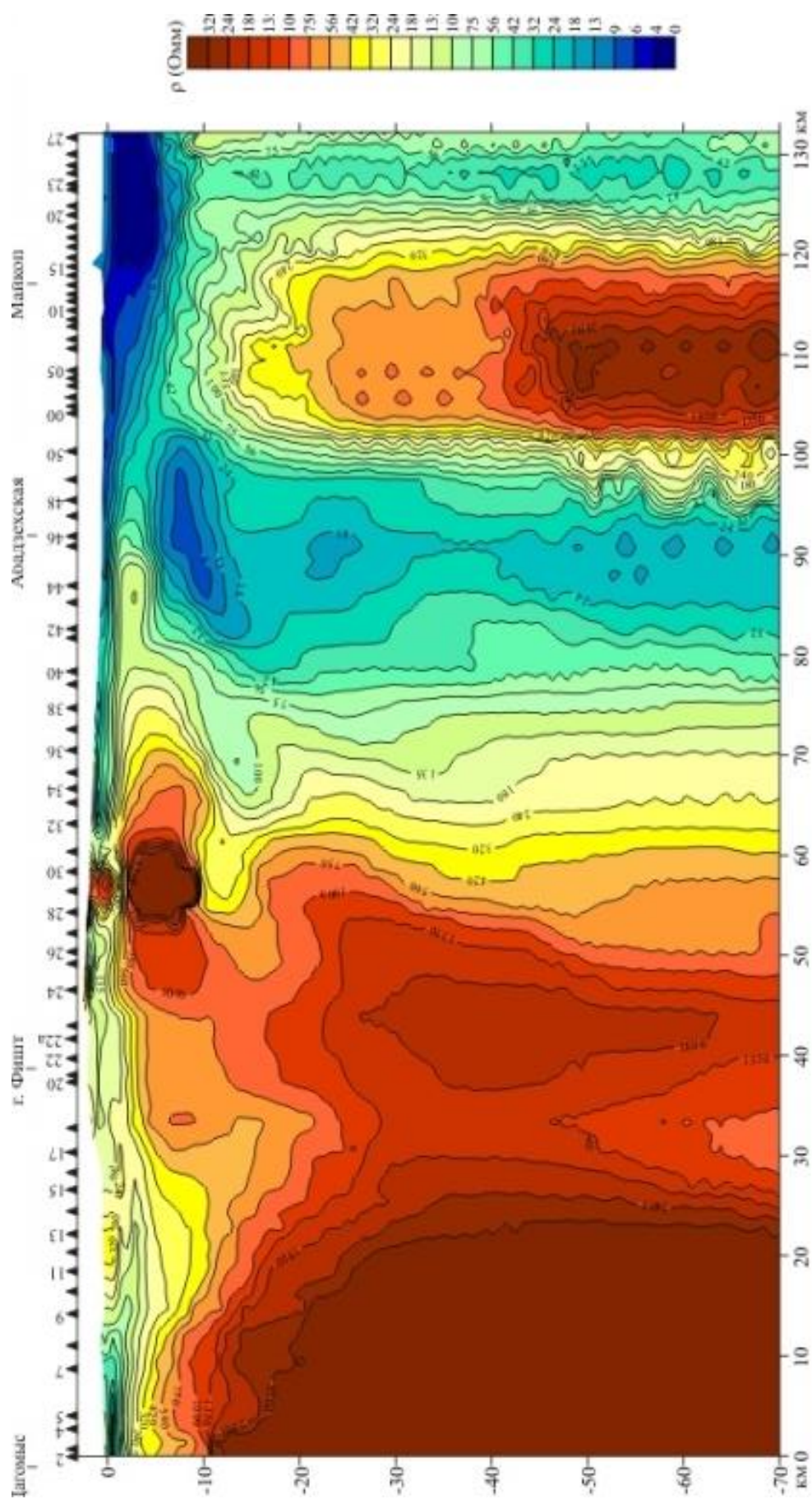


Рис. 6. Глубинный геоэлектрический разрез, станции МТЗ и их номера
(Компаниец М.А., Шамановская С.П.)

верхней части разреза в поле кажущихся электрических сопротивлений картируются довольно уверенно, где нормализация кривых МТЗ для устранения искажений, вызванных приповерхностными неоднородностями, достаточно корректна.

На рис.7 приведена сейсмологическая модель земной коры вдоль Адыгейского профиля с показом относительной интенсивности границ обмена PS-волн по данным МОВЗ и относительных аномалий скорости проходящих Р-волн по методу сейсмической томографии. Главной особенностью рассматриваемого сейсмологического разреза является наклонное погружение под Кавказ глубинных границ обмена в южной половине профиля и их субгоризонтальное залегание к северному его концу в пределах Предкавказья. Центральная часть разреза отличается незначительным количеством площадок обмена и средними скоростями.

В процессе комплексной интерпретации приведённых выше материалов устанавливаются следующие основные тектонические элементы разреза земной коры вдоль Адыгейского профиля (рис. 8).

В пределах южной части профиля одна из контрастных границ обмена PS-волн с глубин 10–11 км погружается в северном направлении, и, принимая во внимание результаты МТЗ, может быть поверхностью высокоомного (более 2000 Ом) консолидированного фундамента (Ф). Перекрывающий его комплекс пород Складчатых зон южного склона представлен вулканогенно-терригенными отложениями мезозоя повышенной намагниченности и осадочной толщей кайнозоя. Их кажущиеся электрические сопротивления находятся в пределах первых сотен омметров. Консолидированная кора этой части Адыгейского разреза, также как предполагалось и по расположенному западнее Туапсинскому профилю [Шемпелев и др., 2002], может являться продолжением реликтовой субокеанической коры Черноморской впадины. Сейсмическими работами последних лет в рамках международной программы «Геология без границ» в пределах Восточно-Черноморского бассейна под осадочным чехлом выделяется поздне меловая океаническая кора или утонённая меловым рифтингом континентальная кора. «Толщина собственно магматической океанической коры оценивается в 9–11 км» [Никишин и др., 2013]. При фактическом отсутствии гранито-метаморфического слоя океаническая кора является условным базальтовым слоем, а граница обмена на глубине 10–11 км на Адыгейском профиле, принятая в качестве поверхности Ф, может быть одновременно условной поверхностью Конрада (К). Граница обмена с максимальными амплитудами на глубине 17 км, которая, также как и вышележащая, погружается с углами порядка 30° в северном направлении под структуру Большого Кавказа. Учитывая высокую плотность нижележащих толщ (рис. 4), она может быть поверхностью Мохо (М). Именно субокеанический тип коры и незначительная её мощность определяют в южной части Адыгейского профиля не типичное для орогенных сооружений относительно положительное поле силы тяжести. Наблюдаемые границы раздела (рис. 8) подчёркивают характер взаимоотношения слоёв земной коры, очевидно, разных плит, и, в частности, примерно до 100-го км профиля, положение опустившейся в мантию краевой части консолидированной коры Черноморской микроплиты. Поверхность Мохо здесь предполагается на глубинах 55–60 км. То есть имеет место не подвиг одной литосферной плиты под другую (рис. 7), что соответствовало бы континентальной субдукции, а пологий надвиг (наползание) земной коры северной плиты по поверхности консолидированного фундамента южной, сопровождающееся некоторым погружением последней в мантию.

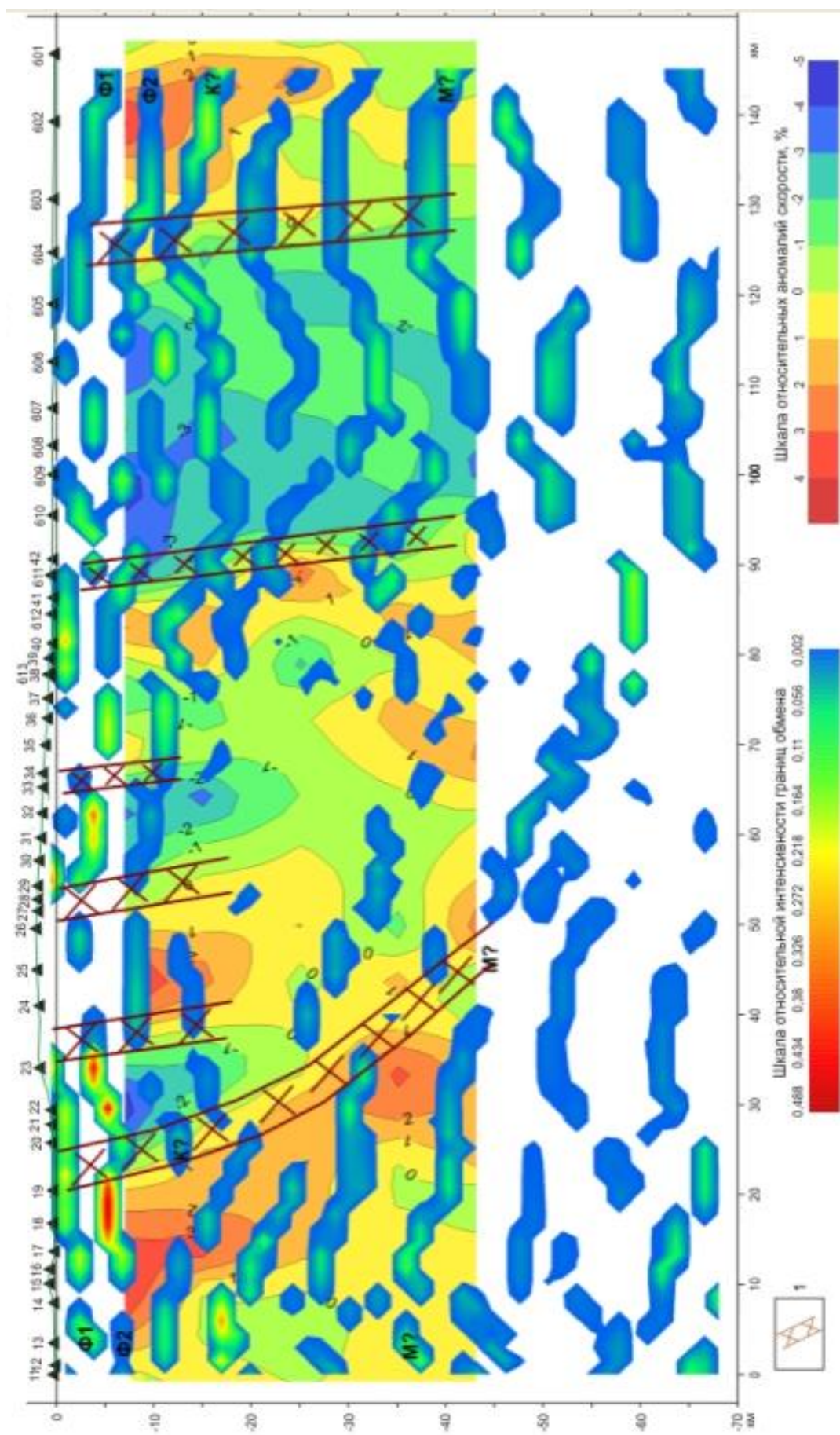


Рис. 7. Сейсмологическая модель земной коры: 1 – зоны предлагаемых разломов (Кухмазов С.У., Геворкян Ю.А.)

Судя по геофизическим характеристикам, в западной части Центрального Кавказа происходит фактическое удваивание толщины условного базальтового слоя, более пластичного чем гранитный слой. Вдоль северной границы погружающейся плиты сохраняется уступ в поверхности Мохо (100–110-й км профиля). Процесс напоздания может объясняться ротационными и гравитационными силами, в первую очередь центробежными, относительно значительными для широты Кавказа. Необходимо подчеркнуть в этом геодинамическом процессе очевидное наличие обгоняющего движения вышележащих слоёв земной коры относительно нижележащих при перемещении масс с севера. Это явление впервые для Предкавказья отмечалось в отчётах авторов ГСЗ по профилю Волгоград – Нахичевань А.Б. Кибалова, Г.В. Краснопевцевой, а также в других работах [Шемпелев, 1978; Shempelev, Kumkova, 1994]. В результате этого в зоне сопряжения плит происходит скучивание и нагромождение тектонических пластин с образованием складчатых структур значительной мощности.

Поверхность пологого надвига и зона контакта краевой части напоздающей плиты с осадочным комплексом пород Черноморской микроплиты определяют зону Главного Кавказского надвига. Аналогичная картина в зоне надвига просматривается по материалам ГСЗ вдоль профиля Степное – Бакуриани в работах Ю.Г. Юрова, Г.В. Краснопевцевой, В.И. Шевченко, А.Г. Шемпелева. Часть земной коры южной микроплиты, просевшая в мантию под тяжестью напоздающей по пологому надвигу консолидированной коры северной плиты, создала под Большим Кавказом так называемые «корни гор», практически отмечаемые под всеми горными сооружениями. При этом динамика принимаемого коллизионного процесса объясняет наблюдаемое вдоль Адыгейского профиля смещение осевой части «корней гор» от поднятия Главного хребта, оси орогена, к северу в сторону Передового хребта (рис. 8).

В центральной части Большого Кавказа кристаллический фундамент часто выходит на дневную поверхность или перекрыт мезозойскими отложениями небольшой мощности. Толщина гранитного слоя вдоль Адыгейского профиля, судя по материалам МОВЗ и МТЗ, находится в пределах 10-ти км. Приподнятое в процессе надвига положение относительно хрупкого гранитного слоя северной плиты объясняет его блочное строение и природу разнообразия грабенов в пределах орогенной структуры (коллапс орогена). Глубина грабенов, вероятно, ограничивается толщиной гранитного слоя.

Скифская эпигерцинская плита в пределах северного окончания Адыгейского профиля (Восточно-Кубанская впадина) характеризуется субгоризонтальным залеганием слоёв земной коры и её выдержанной толщиной около 40 км. Поверхность консолидированного фундамента (Ф) здесь находится на глубинах 7–9 км. Переходная зона от коллизионных структур Большого Кавказа к неподвергшейся рифтогенезу основной части Скифской плиты (90–110-й км Адыгейского профиля) характеризуется на всю мощность земной коры нарушением корреляции границ обмена PS-волн и самыми низкими в пределах разреза волновыми скоростями, а также повышенными значениями градиента поля силы тяжести и повышенной электропроводностью. Это, очевидно, одна из современных наиболее мобильных проницаемых зон разреза. К ней приурочен Адыгейский выступ, нашедший слабое выражение в физических полях из-за незначительных размеров при шаге полевых наблюдений 2–3 км. Подобной проницаемой зоне на Приэльбрусском профиле отвечают зоны субвертикальной нарушенности земной коры района Кавказских Минеральных Вод [Шемпелев и др., 2005].

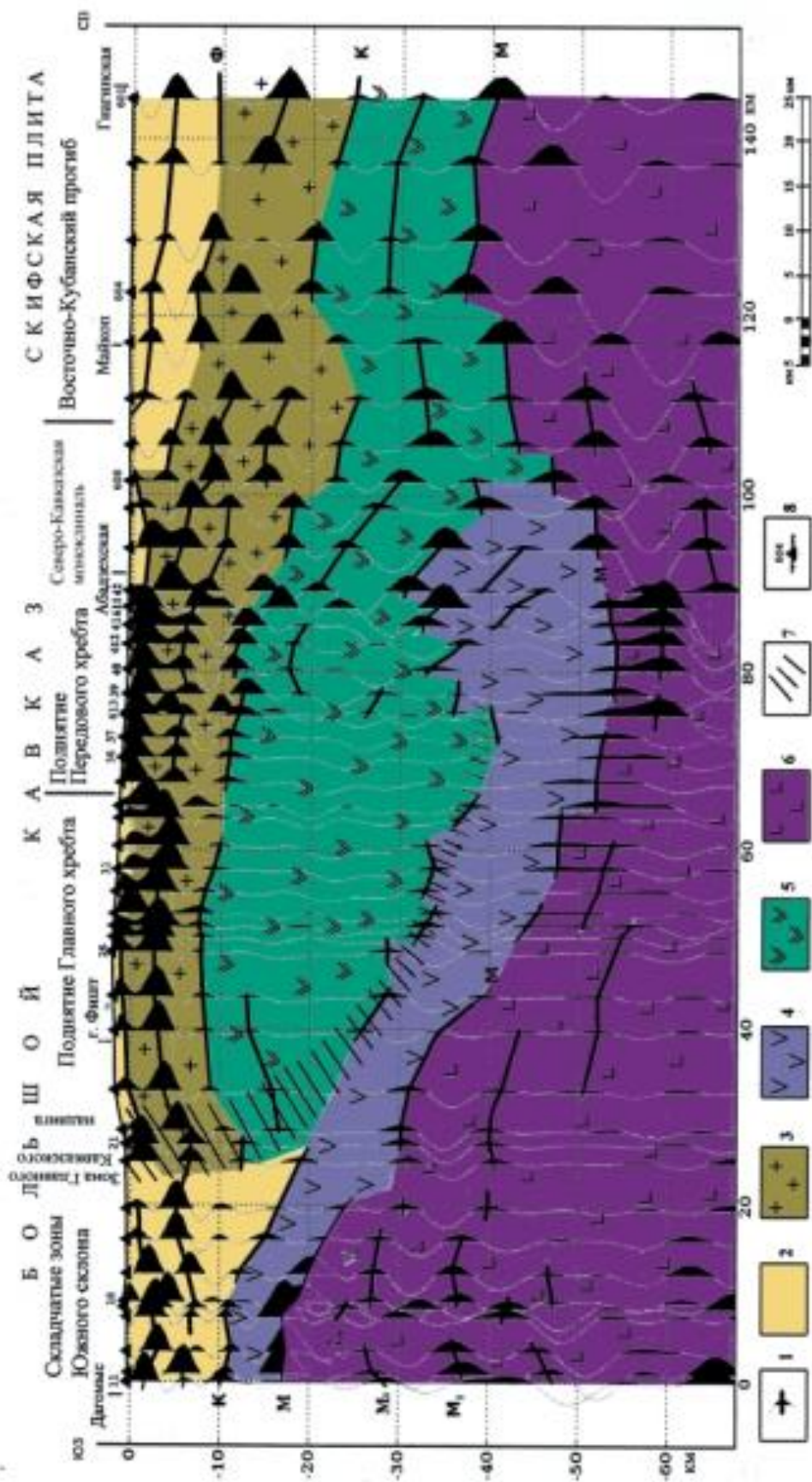


Рис. 8. Глубинный геолого-геофизический разрез:
 1 – функция приемника станции МОВЗ с обменной границей. 2 – мезокайнозойский осадочный чехол. 3 – гранито-метаморфический слой. 4 – базальтовый слой южной микроплиты. 5 – базальтовый слой Скифской плиты. 6 – верхняя мантия. 7 – зона Главного Кавказского надвига. 8 – линия профиля, станция МОВЗ и ее номер (Шемпелев А. Г., Кухмазов С. У., Лавришнев В. А.)

Аналогичная наблюдаемой по Адыгейскому профилю картина погружения в мантию краевых частей южных микроплит, вероятно, существует вдоль всей зоны Главного Кавказского надвига. В частности, для профилей Степное – Бакуриани и Волгоград – Нахичевань Г. А. Павленковой при переинтерпретации материалов ГСЗ методом лучевого моделирования [Павленкова, 2012] «крупное нарушение предполагается по границе М при переходе от платформенной части региона к горной». Отмечается «даже небольшой надвиг приподнятой части этой границы на прогнозируемую часть». Фактически такие формы могут возникнуть в процессе пологого надвига (наползания) земной коры Скифской плиты на краевые части южных микроплит.

Заключение

В результате рассмотрения наблюдаемой вдоль Адыгейского профиля комплексной картины границ обмена PS-волн методом обменных волн далёких землетрясений, данных магнитотеллурических зондирований и материалов гравимагнитных съёмки наиболее приемлемым вариантом интерпретации, по мнению авторов, является предположение пологого надвига земной коры Скифской плиты на консолидированную кору южной микроплиты (реликт Черноморской плиты субокеанического типа), а в итоге погружение краевой части последней в мантию. В процессе этого происходит увеличение толщины земной коры до 50–60 км (корни гор) и образование орогена Большого Кавказа (поднятия Главного и Передового хребтов) за счёт фронтальной части Скифской плиты и подстилающей консолидированной коры Черноморской микроплиты.

Зона Главного Кавказского надвига, зона сопряжения двух плит, представлена в верхней части геологического разреза крутопадающей фронтальной частью наползающей с севера земной коры Скифской плиты и далее с глубиной пологим базальным срывом по подошве её базальтового слоя в интервале 30–100-го км профиля.

При сопоставлении результатов комплексных геофизических исследований вдоль Адыгейского профиля с известными геофизическими материалами ГСЗ, МОВЗ и МТЗ по другим региональным профилям отмечается сходство в элементах глубинного строения в различных частях Центрального Кавказа. Это приводит к выводу о вероятном образовании всей орогенной структуры Большого Кавказа, как части Альпийского коллизионного пояса, за счёт пологого надвига (наползания) земной коры Скифской плиты Скифско-Туранской платформы на консолидированную кору коллажа южных микроплит, обрамляющих с севера Аравийскую плиту.

Литература

а. опубликованная

1. Краснопевцева Г.В., Матушкин Б.А., Попов Е.А. Геофизические исследования на региональном профиле Волгоград – Нахичевань // Изв. АН СССР. Сер. Геол. 1967. № 12. С.43–51.
2. Краснопевцева Г.В., Матушкин Б.А., Шевченко В.И. Новая интерпретация данных ГСЗ по профилю Степное-Бакуриани на Кавказе // «Советская геология». 1970. № 8. С.113–120.
3. Никишин А.М., Амелин Н.В., Петров Е.И. Новая модель строения коры Чёрного моря, полученная по результатам научной программы «Geology Without Limits» // Материалы 45 (XLV) Тектонического совещания «Геологическая история, возможные механизмы и проблемы формирования впадин с субокеанической и

аномально тонкой корой в провинциях с континентальной литосферой». М.: ГЕОС, 2013. С. 126–129.

4. Павленкова Г.А. Строение земной коры Кавказа по профилям ГСЗ Степное-Бакуриани и Волгоград-Нахичивань (результаты переинтерпретации первичных данных). // Физика Земли. 2012. №5. С. 16–25.

5. Хаин В.Е. Сопоставление фиксистских и мобилистских моделей тектонического развития Большого Кавказа // Геотектоника. 1982. №4. С. 3–13.

6. Шевченко В.И. Казбекское пересечение Центрального Кавказа (новые данные и их возможная интерпретация). Геотектоника. 1969. №1.

7. Шемпелев А.Г. О глубинном выражении Главного Кавказского надвига. // Геотектоника. М., 1978, №6. С. 75–86.

8. Шемпелев А.Г. Разломно-блоковая тектоника Северного Кавказа по геофизическим данным // Геологический журнал. Киев, 1982. №4. С. 97–108.

9. Шемпелев А.Г., Кухмазов С.У., Геворкян Ю.А. Структура Большого Кавказа в поле обменных волн далеких землетрясений / Материалы XX Международной Научной конференции (Школы) по морской геологии. Институт океанологии РАН. М., 2013. С. 347–351.

10. Шемпелев А.Г., Кухмазов С.У., Агеев С.Н., Компаниец М.А., Лаврищев В.А., Шамановская С.П., Геворкян Ю.А. Структура Большого Кавказа по результатам геофизических исследований вдоль Адыгейского профиля (Дагомыс-Абадзехская-Гиагинская) / Материалы XLVI Тектонического совещания «Тектоника складчатых поясов Евразии: сходство, различие, характерные черты новейшего горообразования, региональные обобщения». М., 2014. С. 299–303.

11. Шемпелев А.Г., Пьянков В.Я., Лыгин В.А., Кухмазов С.У., Морозова А.Г. Результаты геофизических исследований вдоль Приэльбрусского профиля (вулкан Эльбрус – Кавказские Минеральные Воды) // Региональная геология и металлогения. С.-П.-Изд. ВСЕГЕИ. №25–2005. С. 178–185.

12. Шемпелев А.Г., Фельдман И.С., Окулесский Б.А., Кухмазов С.У. Результаты МОВЗ и МТЗ по Туапсинскому профилю // Геофизика. 2002. №2. С. 55–59, вкл.

13. Юров Ю.Г. Строение земной коры на Кавказе и изостазия // Советская геология. 1963. №9. С. 42–47.

14. Shempelev A.G., Kumkova I.I. Outstripping movements of upper stratum of Geological section on North Caucasus // Annales Geophysicae. European Geophysical Society, Katlenburg, FRG. 1994. P. 184.

б. фондовая

15. Ольховский Г.П., Тибилев С.М. Составление специализированной геологической основы масштаба 1:50000 для прогнозно-металлогенической карты Горной Осетии. Тематический геологический отчет, книга 2. Фонды Севгеологоразведка, 1998

STRUCTURE OF THE LARGE CAUCASUS – THE RESULT OF THE GENTLY SLOPING THRUST OF THE SCYTHIAN PLATE EARTH’S CRUST ON THE CONSOLIDATED CRUST OF THE TRANSCAUCASIAN MICROS-PLATES

© 2015 A.G. Shempelev^{1,3}, cand.geol.-min. sci., S.U. Khuhmazov²,
H.O. Chotchaev³, L.N. Nevski³

¹OSC «Kavkazgeols'emka», 203, Kislovodskaia st., Essentuki, 357600,
shemp38@yandex.ru;

²LLC «Sei-Eco-Geon», office 4, 24, Nagornaia st., Essentuki, 357623;

³Geophysical institute VSC RAS, 93a, Markova st., Vladikavkaz, Russia,
e-mail: cgi_ras@mail.ru

Brief information about the intersections with deep geophysical studies of the large Caucasus structure is given and the results of the last years works along the Adygea profile (Dagomys-Abadzekhskaya-Giaginskaya), where for the first time with the even step of observations obtained the complex geophysical characteristic of the earth's crust section into the cross of the entire structure of orogen. On the factual materials basis MWEDE, MTS and gravimagnetic surveys the separate elements of the structure of the large Caucasus are separated as the part of the Alpine collision belt, which obviously arose with the gently sloping thrust from the north of the scythian plate earth's crust on the consolidated crust of the Transcaucasian micros-plates

Key words: Large Caucasus, Main Caucasian Thrust, Adygea Profile, Deep Geophysical Studies.

НАШИ ГОСТИ

УДК 550.34

ОЦЕНКА ГРУНТОВЫХ УСЛОВИЙ И ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЛОКАЛЬНОГО СЕЙСМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА

© 2015 Р.Р. Дургарян¹, М.А. Аванесян¹, С.Г. Бабаян¹, М.Р. Геворгян¹,
Г.Е. Бабаян¹, А.Р. Аракелян²

¹Институт геологических наук НАН РА, Республика Армения, 0019, Ереван,
пр. Маршала Баграмяна, 24а, e-mail: raffie_d@yahoo.com;

²Армянская ассоциация сейсмологии и физики Земли, Республика Армения,
0038, Ереван, ул. Шинарарнери 10, e-mail: vitoarakel@yahoo.com

В работе приводятся данные детальных геофизических и геологических наблюдений, проведенных с целью оценки грунтовых условий и возможности возникновения локального сейсмического эффекта на территории Двинского городища при землетрясениях 863, 893 гг. Исследования были проведены на участках с наибольшими макросейсмическими воздействиями – центральный квартал города Двин и сопредельный участок кафедрального собора. Анализ полученных данных относительно грунтовых условий – динамические характеристики собственных колебаний, локальные резонансные характеристики, средние скорости поперечных упругих волн первых тридцати метров (V_s-30) позволяют сделать вывод, что высокая интенсивность обоих Двинских землетрясений, приведших к разрушению и массовой гибели людей, обусловлена локальными усилениями сейсмических колебаний (site effect).

Ключевые слова: Двинское городище, резонансные характеристики, локальное усиление сейсмических колебаний.

Геологические и топографические условия местности

Участок исследований находится на северном борту Араратской котловины, на так называемых Двинских холмах. Центральный холм, на котором располагается цитадель и соседний с ним холм с кафедральным собором и дворцом католикоса имеют искусственное происхождение – это археологические образования известные на Ближнем Востоке под названием тель. В основании этих холмов имеются небольшие выступы маломощных брекчий и коллювия вулканогенных и осадочных пород, покрытые слоем речных отложений мощностью около 30 м. Под ними залегают косослоистые глины и суглинки. Холмы центрального квартала Двина образованы 20–30-метровыми отложениями, состоящими из смеси деструктированного саманного кирпича, золы и обломков керамики – то есть культурного слоя, в основании которого залегают речные отложения представленные глинами и линзами песка.

По данным буровых скважин, уровень грунтовых вод здесь располагается на глубине от 3 до 10 метров и связан с речными отложениями, расположенными над водоупорным горизонтом глин среднего миоцена. Холм Двина был окружен крепостной стеной, перед которой был вырыт ров, заполняемый водой. Ров питался

водой из искусственного водоема, расположенного внутри крепостных стен, который служил и как запас пресной воды. Один из сегментов рва, расположенный между кафедральным собором и цитаделью, возможно, мог быть небольшим рукавом древнего русла реки.

Результаты археологических раскопок показали, что нижние слои культурного слоя относятся к куро-араксской культуре, датируемой периодом ранней бронзы – 22–23 века до РХ. Поселение существовало непрерывно от периода ранней бронзы до античного времени. Ко времени возникновения средневекового города Двин наслоения культурного слоя имели уже значительную мощность и образовали холм-тель высотой несколько десятков метров. Именно этому телю Двин обязан своим именем, поскольку по-арабски Двин или Девил означает холм. Холм, на котором располагается Двин, расположен в пределах конуса выноса реки Азат.

С инженерно-геологической и геотехнической точки зрения, на исследованном участке центрального квартала Двина наблюдаются все виды неблагоприятных типов грунтов и геологических явлений по всем известным нормативным документам (СНПА II-6.02–2006 РА категория грунта 4; UBC 97 (United Building Code-US) категория грунта E, EC8 (European Building Code) категория грунта C) [СНПА..., 2006].

Измерения микроколебаний грунта

В рамках данной работы были проведены измерения микросейсмических колебаний на 3-х интересующих нас участках – на территории цитадели, кафедрального собора и, прилегающей к холмам Двина, равнине (рис. 1). Для проведения данных измерений был использован трехкомпонентный сейсмодатчик TROMINO GRILLA [Chatelain et al., 2000].

Первая точка измерений находилась на вершине холма цитадели, который расположен на культурном слое. Вторая точка измерений находилась юго-западнее первого участка, на территории развалин кафедрального собора. Участок кафедрального собора представлен искусственной насыпной площадкой и культурным слоем с многочисленными обломками вулканогенно-осадочных пород. Третья точка измерений находилась на равнинной местности, южнее второго участка. Породами основания служат глинистые и суглинистые грунты Араратской долины с линзами песка и мелкого гравеля.

Принимая во внимание рекомендации, данные в SESAME European research project 2004 [SESAME, 2004], и которые были составлены на основе многолетнего опыта проведения подобных измерений, были выбраны следующие основные параметры измерений:

- Продолжительность записи 20 мин.;
- Частота измерения 250 Гц.

Такая система измерений позволяет провести дальнейшую обработку данных как с учетом требований, накладываемых стандартной методикой оценки приращения усилений [SESAME, 2004] (необходимость синхронных измерений на эталонных и исследуемых грунтах), так и без их учета, когда все наблюдения рассматриваются как независимые.

Вычисление и анализ H/V спектральных соотношений

Для анализа и интерпретации полученных данных использована программа GRILLA, главными функциональными возможностями и модулями обработки ко-



Рис. 1. Схема расположения точек измерений микросейсм (H/V) и сейсмических зондирований (SS)

торой являются [Chatelain et al., 2000; Konno and Ohmachi, 1998; Nakamura, 1989]:

- .. FFT спектр
- .. Сглаживание методикой Konno & Ohmachi
- .. Объединение двух горизонтальных компонент
- .. Спектральные соотношения H/V (соотношения горизонтальных и вертикальных составляющих собственных колебаний грунтов) для каждого сегмента записи
- .. Среднеарифметические соотношения H/V
- .. Ожидаемые стандартные отклонения спектральных соотношений

В таблице 1 и на рисунке 2 приведены основные результаты исследований по частотным характеристикам собственных колебаний грунтов (f_0).

Исходя из опыта мировой практики, полученные результаты соотношений кривых H/V, с геоморфологической точки зрения, соответствуют структуре аллювиального бассейна. На 1 и 2 участках наблюдаются очень низкие скоростные характе-

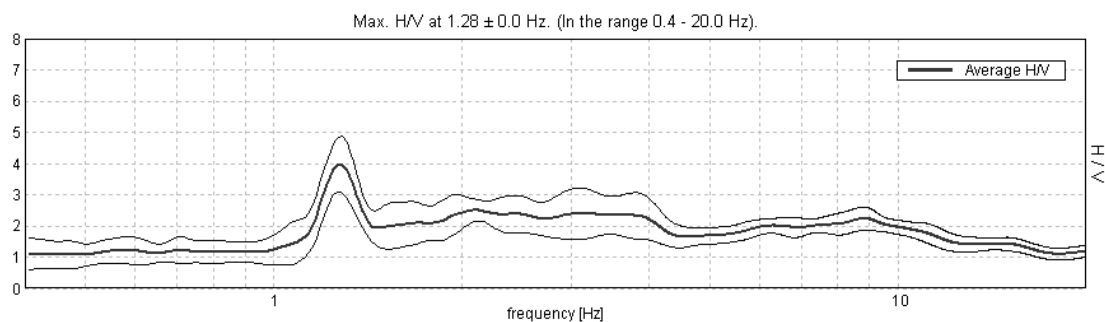
Таблица 1

Основные результаты исследований по частотным характеристикам собственных колебаний

Исследуемый участок	Частота колебаний грунта (f_0) (Гц)	Преобладающий период (t_0) колебаний грунта (с.)	Преобладающий период ($1,3t_0$) колебаний грунта по СНРА 2006 (с.)	Категория грунта по СНРА 2006
1	1,28	0,78	1,014	IV
2	1,27	0,78	1,014	IV
3	4,9	0,2	0,26	I

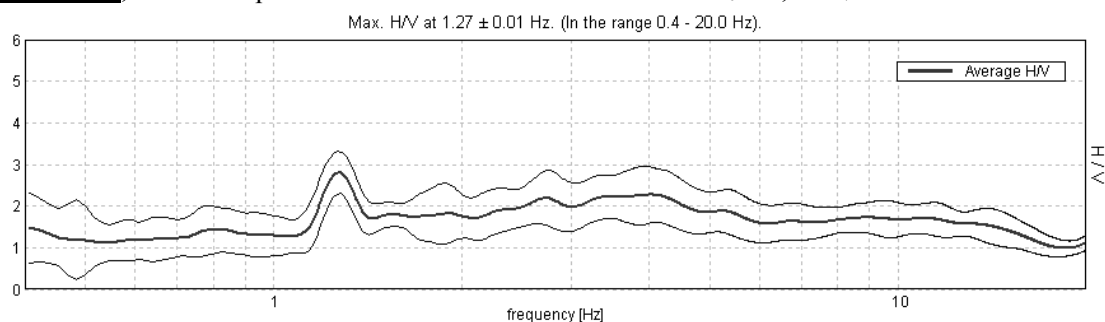
Участок 1, H/V спектральные соотношения

Частота $f_0 = 1,28$ Гц



Участок 2, H/V спектральные соотношения

Частота $f_0 = 1,27$ Гц



Участок 3, H/V спектральные соотношения

Частота $f_0 = 4,9$ Гц

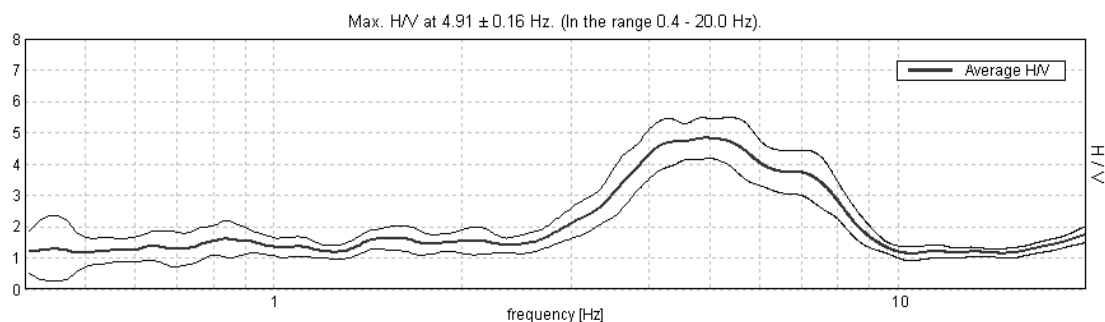


Рис. 2. Кривые соотношений H/V на трех исследуемых участках.

ристики, что является следствием наличия мощного культурного слоя, деструктированного саманного кирпича, множества пустот и погребенных древних построек. На 3 участке, в связи с относительной однородностью и плотностью подстилающих пород, частотный диапазон имеет более высокие частоты (4,9 Гц) с соответствующими ему периодами собственных колебаний грунта (0,2 с).

Скоростные характеристики грунтов

Методика инструментальных измерений и аппаратура

При проведении полевых работ использовался метод измерения скоростей продольных преломленных волн [Гурвич, Боганик, 1980].

Сейсморазведочные измерения были проведены на 24 точках (рис. 1). Для измерений была использована сейсмостанция СТС-24р с применением сейсмических кос двух конфигураций – 22 м и 55 м (с расстоянием между сейсмоприемниками 2 м и 5 м соответственно), каждая из которых состояла из 12 вертикальных сейсмоприемников.

Обработка и интерпретация полевых материалов

Полученные сейсмограммы обрабатывались по методике выделения первых вступлений продольных волн.

Интерпретация данных сейсмических наблюдений проводилась в несколько этапов.

Основными из них являлись:

- Расшифровка волновой картины;
- Построение сейсмического разреза;
- Геологическое истолкование результатов.

Обработка полевых материалов осуществлялась по программе СТС-VIEW. С помощью этой программы определялись скорости продольных волн.

Построение сейсмических границ осуществлялось методом полей времени, так как этот метод не требует каких либо ограничивающих предположений о форме преломляющей поверхности, и позволяет строить преломляющие границы, как в однородных, так и в неоднородных средах, и при необходимости учитывать влияние промежуточных границ разреза.

Анализ результатов полевых сейсморазведочных измерений

В результате обработки сейсморазведочных материалов исследуемой территории были получены значения скоростей распространения продольных и поперечных волн до глубины 30 метров – V_p (aver.) = 245 м/с, V_s (aver.) = 142 м/с, а также значения их соотношения $V_p/V_s=1,73$.

Согласно международным и местным нормам полученные значения V_s (aver.) соответствуют IV и ниже категории грунтов.

Обсуждение результатов

Культурный слой, слагающий тель холма Двин, имеет мощность от 3–5 до 30 м и состоит из золы, деструктированного саманного кирпича, многовекового мусора и напоминает своими характеристиками лессовый песок. Он легко смачивается, после чего приобретает высокую пластичность и текучесть.

Под культурным слоем на глубине от 3–5 до 30 метров залегают речные отложения, представленные глинами, суглинками с линзами песка и мелкого гравеля.

Уровень грунтовых вод расположен на глубине от 3–5 до 30 метров и связан с горизонтом речных отложений.

Искусственный водоем, расположенный внутри центрального квартала города Двин, и крепостные рвы, заполненные водой, приводили к дополнительному обводнению участка в древности.

Учитывая вышеизложенное, и основываясь на нормативных документах и результатах исследований по Vs-30, грунты центрального квартала города Двин относятся к следующим категориям грунтов: UBC-97 category (E); EC-8 (C) category; СНРА II-6.02–2006 (Строительные нормы Республики Армения 4-я категория), которые оцениваются как крайне неблагоприятные.

Анализ результатов измерений H/V на участке 1 и 2 (Цитадель и Кафедральный Собор) показывает, что собственные колебания грунта составляют 1,28 и 1,27 Гц, а на участке 3 (пашня у подножия холмов) 4,9 Гц.

Низкие скоростные значения (V_s (aver.) = 142 м/с) участков 1 (цитадель) и 2 (кафедральный собор), в особенности на участке 1, являются следствием наличия мощного культурного слоя теля.

Основные выводы

– Результаты исследований показывают, что собственные колебания грунтов на участках Цитадель и Кафедральный Собор составляют соответственно 1,28 и 1,27 Гц. Это обусловлено типом грунта, рельефом (топографический эффект), а также уровнем залегания грунтовых вод.

– Геофизические и геологические наблюдения фиксируют крайне плохие грунтовые условия и реальную возможность возникновения «локального сейсмического эффекта участка», а также потенциальную возможность возникновения эффекта разжижения грунта (liquefaction) на участке центрального квартала города Двин. Разрушения кафедрального собора, дворцов, крепостных стен и массовая гибель людей, описанные в летописях, а также высокую интенсивность обоих Двинских землетрясений можно отнести к последствиям локальных усилений сейсмических колебаний (Site Effect).

Работа выполнена в рамках финансирования договора N AS-1/3 Института геологических наук НАН РА.

Литература

1. Гурвич И.И., Боганик Г.Н. Сейсмическая разведка, изд. третье, М., Недра, 1980.
2. СНРА II-6.02–2006. Строительные нормы Республики Армения
3. Chatelain J.-L., Ph Guéguen, B. Guillier, J. Fréchet, F. Bondoux, J. Sarrault, P. Sulpice, J.-M. Neuville, (2000), CityShark: A user-friendly instrument dedicated to ambient noise (microtremor) recording for site and building response studies, Seism. Res. Lett, 71, 698–703.
4. Konno, K. and T. Ohmachi, (1998), Ground-motion characteristics estimated from spectral ratio between horizontal and vertical components of microtremor, Bull. Seism. Soc. Am., 88, 228–241.575

5. Nakamura Y., (1989), A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface, Quarterly Report of the Railway Technology Research Institute, 30, 25–30.

6. SESAME, (2004), Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations. Measurements, processing and interpretation, European Commission – Research General Directorate Project No.EVG1-CT-2000–00026 SESAME, report D23.12.

EVALUATION OF GROUND CONDITIONS AND OCCURRENCE OF LOCAL SITE EFFECT

© 2015 R.R. Durgaryan¹, M.A. Avanesyan¹, S.H. Babayan¹,
M.R. Gevorgyan¹, H. Y Babayan¹, A.R. Arakelyan²

¹Institute of Geological Sciences of the NAS RA, Republic of Armenia, Yerevan, 0019, Marshal Baghramyan ave., e-mail: raffie_d@yahoo.com;

²Armenian Association of Seismology and Physics of the Earth, Armenia, Yerevan 0038, Shinararneri str. 10, e-mail: vitoarakel@yahoo.com

In the study the data on detailed geophysical and geological observations aimed to the assessment of local soil conditions and possibility of local seismic effect occurrence in the territory of Dvin ancient settlement during the earthquakes of 863 and 893 are presented. The studies have been carried out at the sites with the largest macroseismic impact – central block of the town of Dvin and adjacent area of the Cathedral. Analysis of the obtained soil condition data – dynamic characteristics of the natural frequency, local resonance characteristics, shear wave average velocity in upper 30 meters of subsurface stratum (V_{S30}) allowed to conclude that the high intensity of both Dvin earthquakes caused destructions and mass casualties were conditioned by local amplification of seismic vibration (site effect).

Keywords: Dvin settlement, resonance characteristics, local amplification of seismic vibration.

УДК 550.34

РАСЧЕТ СТАЦИОННЫХ ПОПРАВОК (САЙТ-ЭФФЕКТ) НА ОСНОВЕ СЕЙСМИЧЕСКОГО СИГНАЛА

© 2015 Г.Д. Етирмишли, д.г.-м.н., С.Э. Кязымова, к.г.-м.н., И.Э. Кязымов

Национальная Академия Наук Азербайджана Республиканский Центр Сейсмологической Службы, Az 1001 Баку, ул. Нигяр Рафибейли, 25

Работа посвящена изучению влияния среды сайт-эффект станции («усиление») на пути сейсмического луча при распространении поперечных волн от сильных землетрясений. Был произведен расчет стационарных поправок для землетрясений с магнитудой выше 5 произошедшие в 2012–2015 гг. с применением метода Накамуры. На основе полученных осредненных данных для каждой станции была построена пространственная карта распределения фактора усиления для территории Азербайджана. Общее значение фактора меняется в пределах 1,5–3,6. Максимум наблюдается в зоне Куринской впадины и Закаतालском районе, что свидетельствует о слое земной коры под станциями этих регионов усиливающих воздействие поперечной волны на протяжении источник-приемник.

Ключевые слова: землетрясение, сейсмический шум, метод Накамуры, сайт-эффект станции, фактор усиления поперечных волн.

Введение

Азербайджан располагается на территории Кавказского региона, характеризующийся высоким уровнем сейсмической активности. Сведения о сейсмичности территории Азербайджана, где неоднократно происходили сильные катастрофические землетрясения, до начала XX века носили описательный характер. Летопись ведется с 427 г. когда произошло катастрофическое 9-ти бальное Гянджинское землетрясение. Началом инструментального периода сейсмических наблюдений в Азербайджане считается 1902 г., когда после катастрофического Шамахинского землетрясения была основана первая сейсмическая станция «Шамахи».

Многие районы Азербайджана отличаются повышенной сейсмичностью, особенно южный склон Большого Кавказа в районе Шеки – Шемахи и южная часть Малого Кавказа, прилегающая к Араксу. В последние годы значительно возросла сейсмичность Закаतालского, Габалинского районов а так же зона Центрального и Северного Каспия.

Определений динамических и кинематических параметров очагов землетрясений, таких как сейсмический момент, размер очага, сброшенное напряжение и амплитуда подвижки, скорость и направление распространения разрыва в очаге здесь практически не проводилось из-за отсутствия необходимой для анализа цифровой аппаратуры.

На современном этапе (начиная с 2003 г.) плотная сеть высокочувствительных цифровых сейсмических станций в количестве 35-ти, позволяющая регистрировать все сейсмические события с магнитудой $M > 0.1$ в пределах Азербайджана, позволили получить новые данные по механизму очагов землетрясений, что позволило более детального изучить закономерности современного деформационного процесса в литосфере Азербайджана.

Целью данных исследований являлось выявление закономерностей затухания сейсмических волн для литосферы Азербайджанской части Большого Кавказа, а также изучение кинематических и динамических параметров землетрясений региона.

Сейсмичность

За период 2003–2015 гг. сейсмичность была неравномерной как по величине выделенной сейсмической энергии, так и по количеству произошедших землетрясений. Наиболее интересными по величине выделенной сейсмической энергии были 2007 г., 2012-2013 гг. и 2014 г (рис. 1). В 2007 г. величина суммарной энергии достигла $E=73,9 \cdot 10^{11}$ Джоулей. Это связано с тем, что на изучаемой территории произошло несколько землетрясений с $m_l \geq 4.2$: (11 января – в акватории северного Каспия с $m_l=4,9$; 11 июля – в Талышской горной системе с $m_l = 4,9$, $J_0 = 66.$; 23 августа в Шамахи-Исмаиллинском районе с $m_l=4.3$ и 19 сентября на территории Малого Кавказа с $m_l=4,2$, $J_0=56.$).

Однако интерес представляют события произошедшие в последующие годы, начиная с 2012 г., когда резко обострилась сейсмическая обстановка – на территории республики. Происходит ряд землетрясений с интенсивностью 5–7 баллов и $m_l \geq 5$.

В 2012 г. активизация началась 7 мая в 04^h40^m и в 14^h15^m, когда на северо-западе республики в районе Загаталы произошли два сильных землетрясения с $m_l = 5,6$ и 5,7, которые ощущались в эпицентре с $J_0=76$. Они имели большую афтершоковую активность: в I сутки произошло 170 афтершоков, а до конца мая – более 500.

После Загатальских землетрясений 7 мая произошла активизация вдоль всей шовной зоны этих структур, а именно: 14 мая и 25 июня происходят землетрясения в районе Шеки с $m_l = 4,1$, $J_0 = 56.$; 18 мая – афтершок Загатальских землетрясений с $m_l = 5$, $J_0 = 66.$; 7 октября – в Исмаиллинской зоне с $m_l=5.3$ (глубина 41 км), $J_0 = 4-56.$; 14 октября – в Балакене с магнитудой $m_l = 5,6$, $J_0 = 66$.

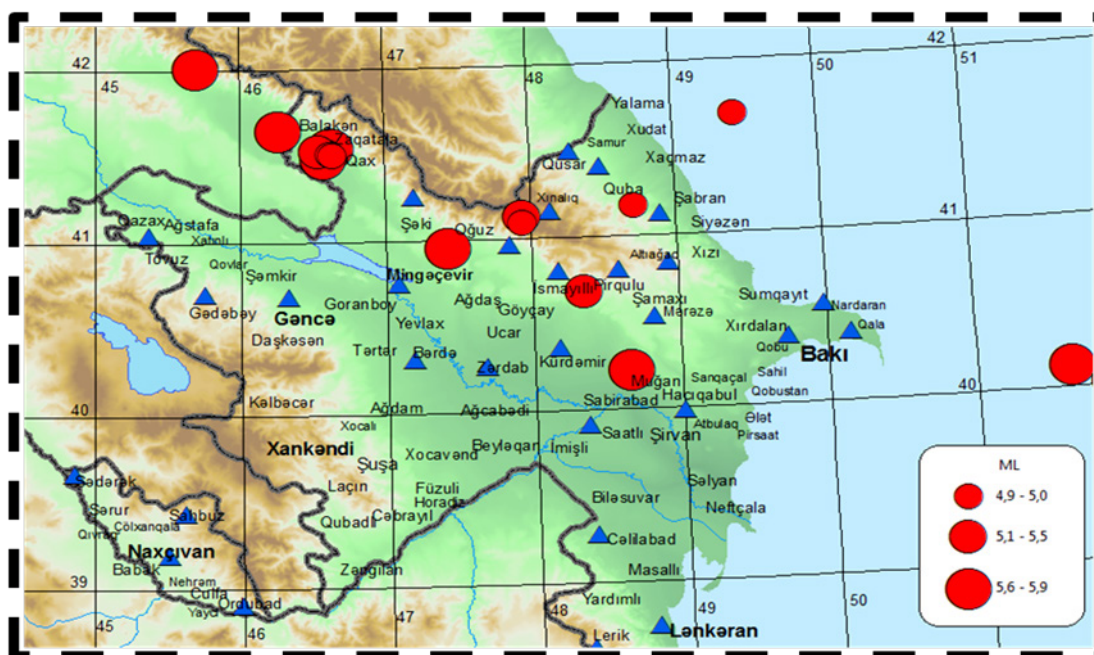


Рис. 1. Карта эпицентров землетрясений за период 2012–2015 гг. с $m_l > 5,0$

В 2013 г., несмотря на то, что число землетрясений увеличилось на порядок, количество выделенной сейсмической энергии ($E = 122 \cdot 10^{11}$ Дж) уменьшилось более, чем в 10 раз. В 2013 г. в ряде районов происходят землетрясения с $m_l \geq 4$: в Самухском районе, а также в районах Шеки, Губы, Габалы. В 2013 году было зафиксировано 24 ощутимых землетрясения.

Величина выделенной сейсмической энергии в 2012 г. достигла $E = 1670 \cdot 10^{11}$ Дж, в 2013 г. это величина уменьшилась до $E = 122 \cdot 10^{11}$ Дж.

В 2014 г. число землетрясений и количество выделенной сейсмической энергии увеличилось. Было зафиксировано 25 ощутимых событий из которых 6 землетрясений с магнитудой с $m_l \geq 5$. Из них наиболее сильными можно отметить землетрясение произошедшее в Гаджигабуле 10.02.2014 по местному времени 16:06 ^h40^m с магнитудой 5,8 ($h = 56$ км), ощущалось до 5–3 баллов а также землетрясение произошедшее в Каспийском море 07.06.2014 по местному времени 11:05 с магнитудой 5,6 ($h = 61$ км), ощущалось до 3 баллов.

В 2015 г. наиболее значительным событием явилось землетрясение 4 сентября произошедшие в Огузском районе с $m_l = 5,9$.

Динамические параметры

Решение многих сейсмологических задач, основанных на использовании данных землетрясений тесно связано с определением кинематических и динамических параметров очагов землетрясений. Под кинематическими параметрами мы понимаем параметры гипоцентра – время в очаге, координаты эпицентра, глубина очага. В качестве динамического параметра мы понимаем спектральная плотность Ω_0 , угловая частота f_0 , сейсмический момент M_0 , радиус круговой дислокации R , сброшенное напряжение D_s , средняя подвижка по разрыву D [Лемзиков В., Лемзиков М.]. Исследование динамических параметров очагов землетрясений необходимо для решения многих задач фундаментальной и прикладной сейсмологии [Макагон, Сычева, 2013].

Известно, что характер движений, записываемых на сейсмограмме, определяется как средой на пути распространения сейсмических волн, так и источником, необходим комплексный анализ записи, который позволил бы получить дополнительную информацию об очаге землетрясения, лучше понять механизм источника [Bindi et al., 2000; Parolai et al., 2004; Picozzi et al., 2008].

Важным моментом при расчете динамических параметров является переход от стационарного спектра к очаговому. Для такого перехода требуется учесть влияние среды («ослабление») и сайт-эффект станции («усиление») на пути сейсмического луча [Лемзиков В., Лемзиков М.; Макагон, Сычева, 2013; Пантелеева, 1994]. Существуют различные методы определения стационарных поправок, которые описаны в работах [Bindi et al., 2000; Parolai et al., 2004; Picozzi et al., 2008]. Цель исследований расчет стационарных поправок (определение сайт-эффекта станции) на основе анализа сейсмического сигнала с применением метода Накамуры [Nakamura, 1989].

В основу данного метода положены представления о том, что влияние тонкого слоя (небольшой слой земной коры непосредственно под сейсмической станцией) изучаемого объекта в большей части относится к поперечным волнам (S-волна), которые усиливаются этой структурой и практически не изменяют продольные волны (P-волна). Тогда отношение спектральных характеристик двух горизонтальных компонент к спектру вертикальной компоненты будет характеризовать так называемую передаточную функцию, которая строго зависит от тонкого слоя под рассматриваемым объектом [Макагон, Сычева, 2013].

Методика вычислений

Как известно, смещения земной коры измеряются в трех направлениях: север-юг (NS), восток-запад (EW) и вертикальное (Z). Метод Накамуры заключается в нахождении отношения спектра горизонтальной компоненты (H) к спектру вертикальной (V). Для этого необходимо использовать измерения 3-х составляющих сейсмограммы E, N, Z [Макагон, Сычева, 2013; Пантелеева, 1994] (рис. 2). Вычисление компоненты H происходит как среднее квадратичное спектров E и N компонент, вертикальной V соответствует спектр компоненты Z. Далее, вычисляется непосредственно отношение H/V:

$$H(f) = \frac{\sqrt{N^2(f) + E^2(f)}}{2} \quad (1)$$

$$H/V(f) = \frac{H(f)}{V(f)} \quad (2)$$

Таким образом, анализировались данные цифровых записей поперечной волны по трем компонентам HGE, HGN, HGZ 17 землетрясений с магнитудой выше 5. произошедшие в 2012–2015 гг. При исследовании длительность временного окна записи составило 60 сек [Макагон, Сычева, 2013].

Из выбранного участка записи устраняется линейный тренд и для предотвращения утечки спектра сигнал сглаживается на концах с помощью 5% косинусоидального окна [Макагон, Сычева, 2013]. К полученному ряду применяются поправки на погрешность измерения прибора и рассчитывается спектр с помощью преобразования Фурье [Макагон, Сычева, 2013]. На рисунке 3 показан пример преобразования спектра Фурье землетрясения произошедшего 4 сентября 2015 г. в Огузском регионе с магнитудой 5,9 по двум станциям «QUB» и «QBL».

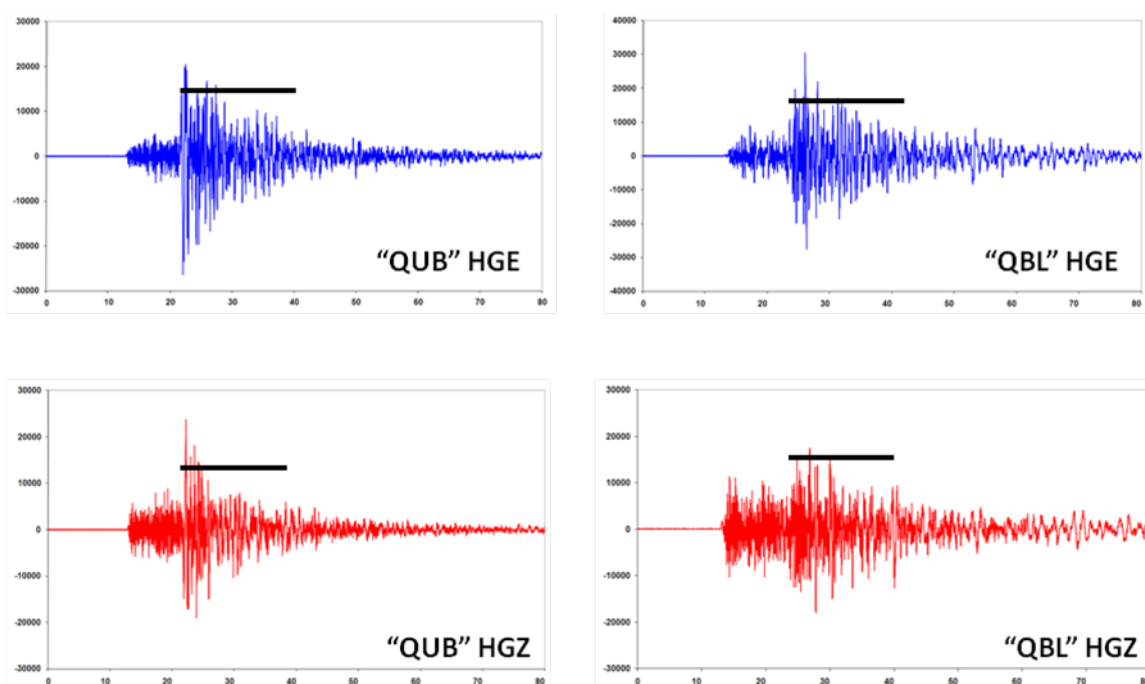


Рис. 2. Горизонтальная и вертикальная компоненты сейсмического сигнала на станциях «QUB» и «QBL»

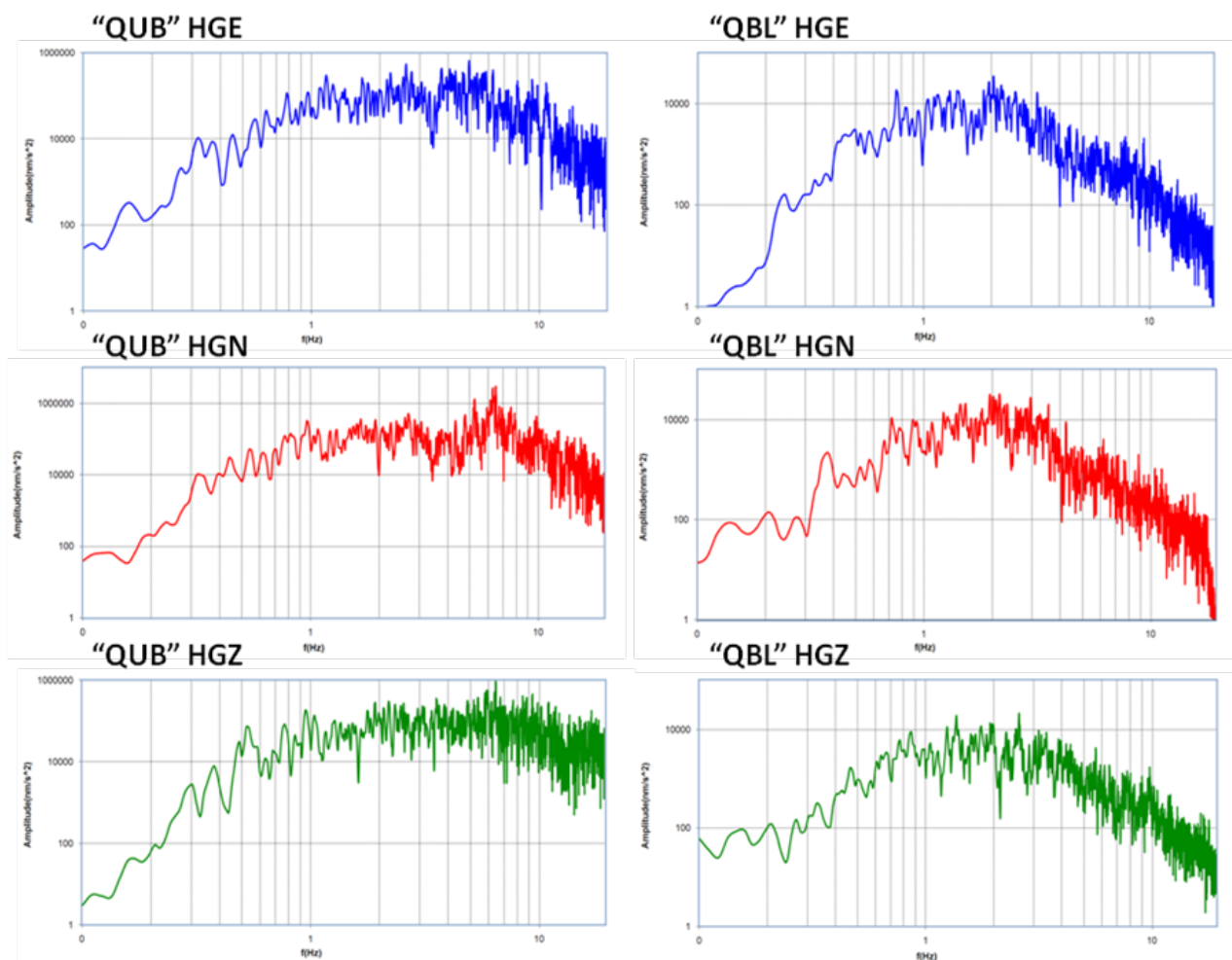


Рис. 3. Спектры горизонтальных (H) и вертикальной (V) компонент сейсмического сигнала на станциях «QUB» и «QBL»

На основе выше сказанного были вычислены спектральные отношения и найден сайт-эффект 20 широкополосных цифровых станций по 17 землетрясениям произошедших в пределах Большого Кавказа. На нижнем графике представлен результат расчета H/V отношений для некоторых из них, представляющих наибольший интерес (рис. 4–9). В таблице 1 представлены осредненные значение станционных поправок, что является важным результатом, который можно использовать при переходе от станционного спектра к спектру очага землетрясения.

Далее учитывая все выше сказанное была построена карта распределения фактора усиления поперечной сейсмической волны на цифровых станциях по данным сильных землетрясений произошедших за 2012–2015 гг.

Результаты

Таким образом, был произведен расчет станционных поправок (определение фактора усиления) на основе анализа сейсмического сигнала землетрясений с магнитудой выше 5. произошедшие в 2012–2015 гг. с применением метода Накамуры.

Было установлено, что для станции ATG, NAX и GLB от землетрясений расположенных в ЮЮЗ направлении характерно усиление в 2,5–3,0 раза в интервале частот 4–10 Гц. Для станций ZKT, LKR, QSR, QZX ALI характерно усиление в 2,5–3,0 раза в интервале частот 0,3–1 Гц. Для станций IML и AST отклонений не наблюдается.

Однако для землетрясений находящихся в ССЗ направлении относительно станций, для станций AST LRK QZX XNQ характерно усиление в 2,5–3,0 раза в интервале частот 3–10 Гц.

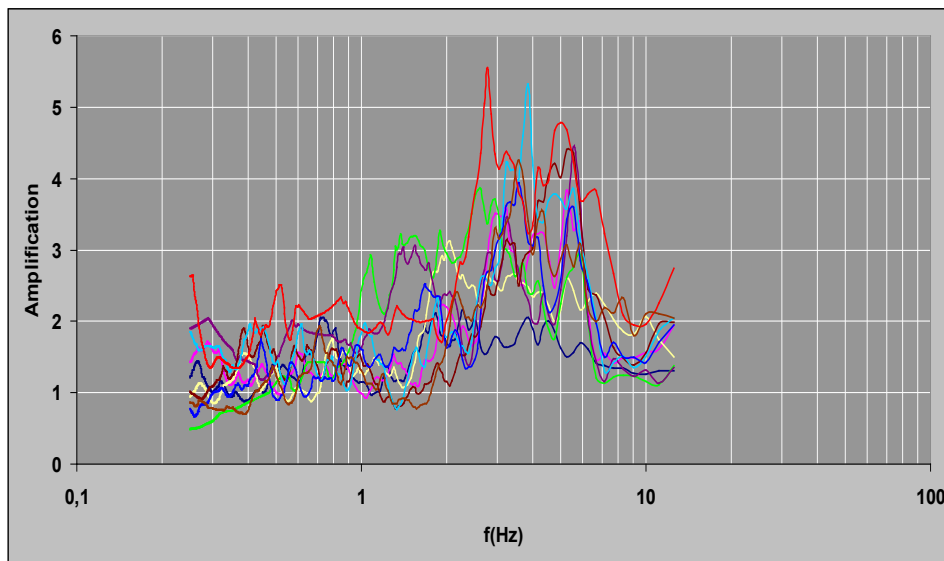


Рис. 4. Фактор усиления сейсмической волны на станции «AST»

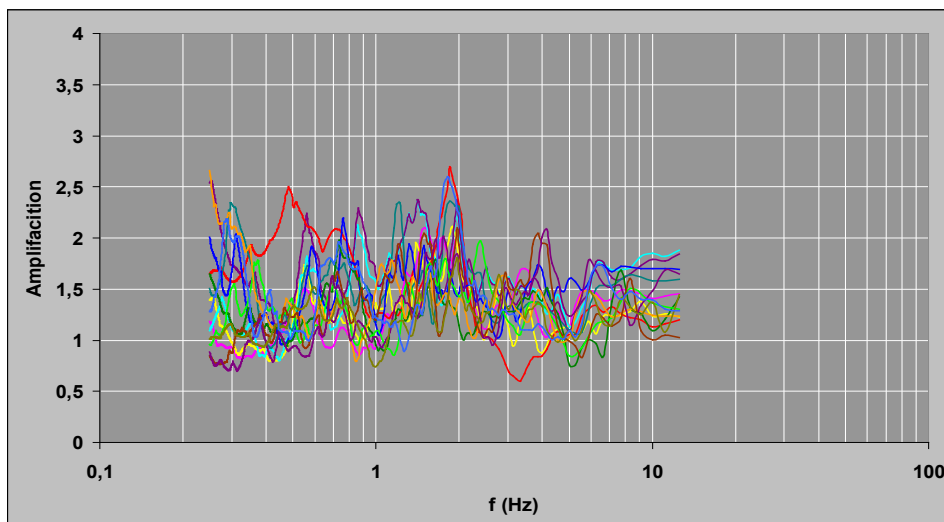


Рис. 5. Фактор усиления сейсмической волны на станции «SIZ»

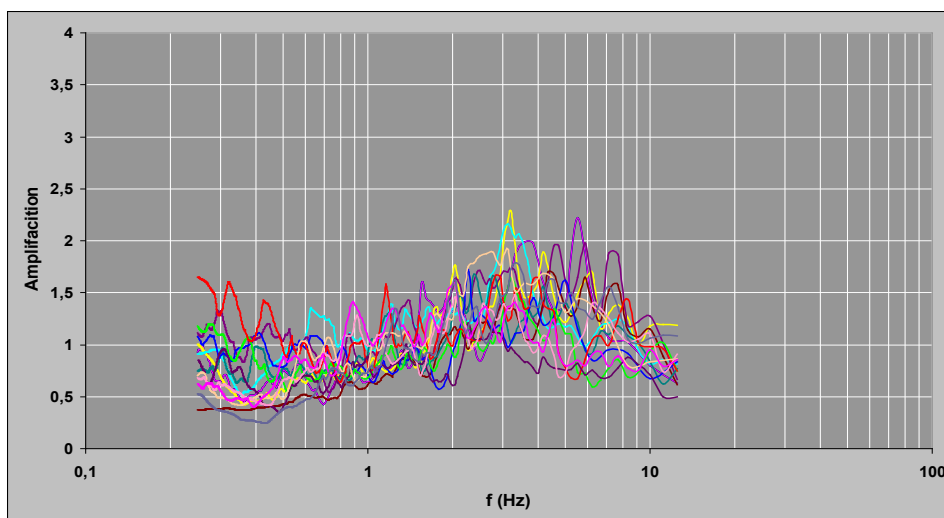


Рис. 6. Фактор усиления сейсмической волны на станции «QZX»

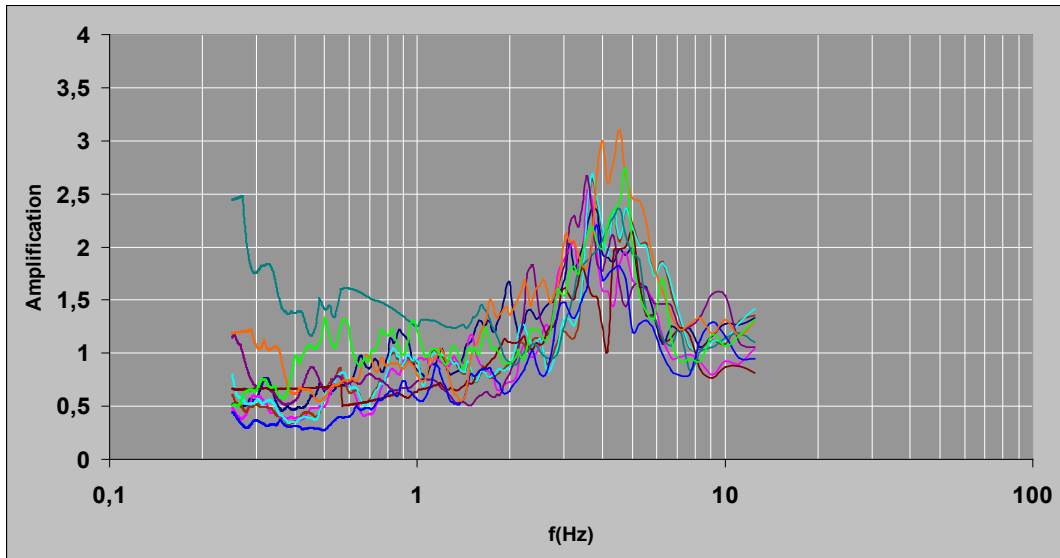


Рис. 7. Фактор усиления сейсмической волны на станции «LRK»

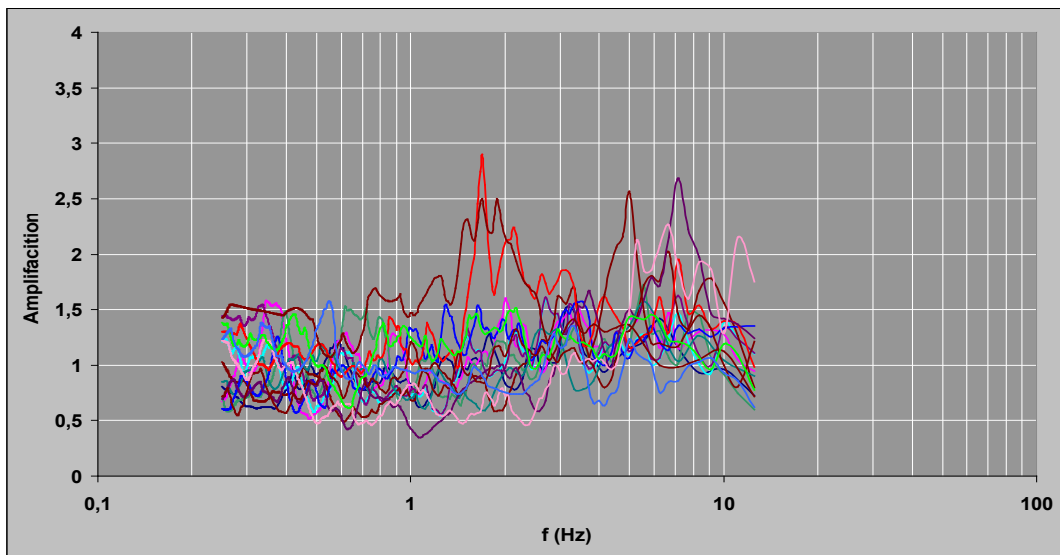


Рис. 8. Фактор усиления сейсмической волны на станции «XNQ»

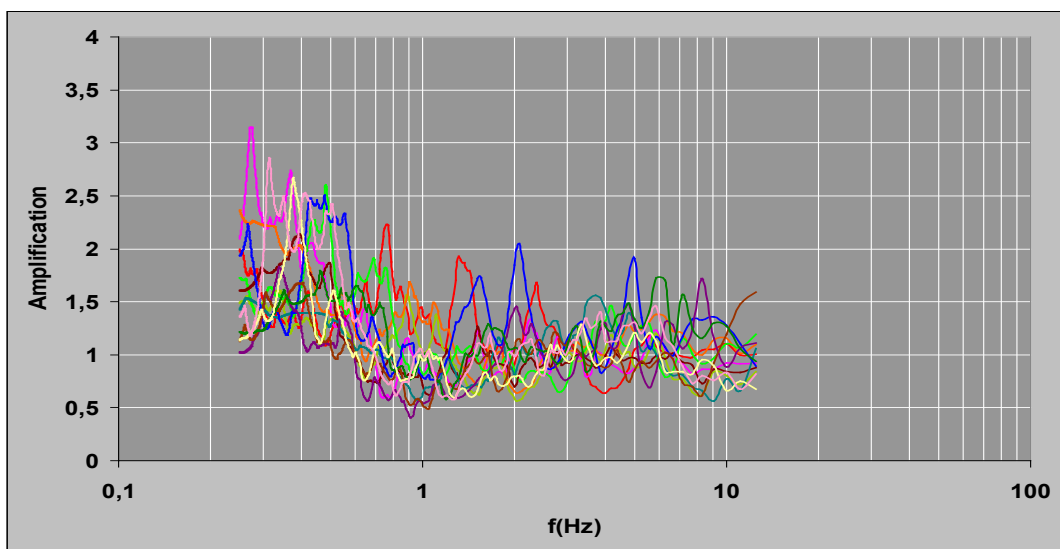


Рис. 9. Фактор усиления сейсмической волны на станции «GSR»

Таблица 1.

Средние значения фактора усиления на цифровых сейсмических станциях

Код сейсмических станций	Координаты сейсмических станций		Фактор усиления
	широта	долгота	
ALI	39.95	49.00	2.7
AST	38.56	48.79	3.5
GBS	40.53	48.94	1.8
GDB	40.72	45.75	1.6
GLB	39.24	48.39	2.8
IML	40.79	48.18	2.0
LKR	38.71	48.78	1.9
LRK	38.64	48.34	2.4
MNG	40.77	47.08	2.4
NAX	39.17	45.49	1.6
PQL	40.78	48.59	2.3
QBL	40.94	47.83	1.8
QSR	41.51	48.26	2.0
QUB	41.35	48.49	1.7
QZX	41.06	45.37	1.9
SEK	41.20	47.19	2.0
SIZ	41.07	48.89	2.4
XNQ	41.17	48.14	2.2
ZKT	41.63	46.62	2.7
ATG	40.86	48.93	1.5

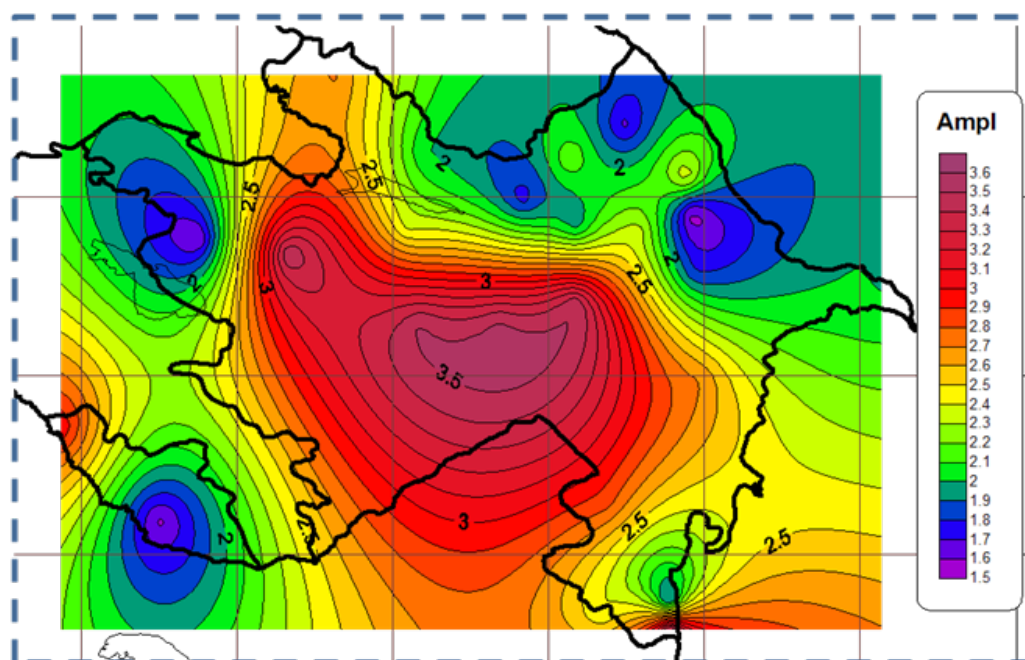


Рис. 10. Карта распределения фактора усиления поперечной сейсмической волны на цифровых станциях, по данным сильных землетрясений произошедших за 2012–2015 гг.

На основе полученных осредненных данных для каждой станции была построена пространственная карта распределения фактора усиления для территории Азербайджана. Общее значение фактора меняется в пределах 1,5–3,6. Максимум наблюдается в зоне Куринской впадины и Закатальском районе, что свидетельствует о слое земной коры под станциями этих регионов усиливающих воздействие поперечной волны на протяжении источник-приемник.

Литература

1. Лемзиков В.К., Лемзиков М.В. Особенности затухания сейсмических волн в вулканических средах Камчатки, Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский. 176–185 с.
2. Макагон М.Ю., Сычева Н.А. Программный комплекс расчета станционных поправок (сайт-эффект) станций на основе сейсмического шума, Вестник КPCY. 2013. Том 13. №7, 90–96 с.
3. Пантелеева Т.А. Спектры и очаговые параметры землетрясений Крыма и их пространственно-временные особенности, Автореферат, Киев, 1994 г., 52 с.
4. Bindi D., Parolai S., Spallarossa D., Cattaneo M. Site effects by H/V ratio: Comparison of two different procedures / D. Bindi, S. Parolai, D. Spallarossa, M. Cattaneo // Journ. of Earthquake Engin. 2000. Vol. 4. №1. P. 97–113. 3.
5. Parolai S., et al. Comparison of Different Site Response Estimation Techniques Using aftershocks of the 1999 Izmit Earthquake / S. Parolai, D. Bindi, M. Baumbach, H. Grosser, C. Milkereit, S. Karakisa, S. Zunbul // Bulletin of the Seismological Society of Amer. June, 2004. Vol. 94. №3. P. 1096–1108. 2.
6. Picozzi M., et. al Site characterization by seismic noise in Istanbul, Turkey / M. Picozzi, A. Strollo, P. Parolai, E. Durukal, O. Ozel, S. Karabulut, J. Zschau, M. Erdik // Soil Dynamics and Earthquake Engineering. 2008. P. 2–6. 4.
7. Nakamura Y. A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface / Y. Nakamura // QR Railw. Tech. Res. Inst. 30. 1989. P. 25–33.

CALCULATION OF STATION AMENDMENTS (SITE EFFECT) BASED ON SEISMIC SIGNAL

© 2015 G.J. Etirmishli, Sc. Doctor (Geol.-Min.), S.E. Kyazymova, Sc. Candidate
(Geol.-Min.), I.E. Kyazymova

National Academy of Sciences of Azerbaijan Republican Seismic Survey Center,
Az 1001 Baku, str. Nigar Rafibeyli 25

The paper studies the influence of the environment (site effect Station) in the path of the ray during propagation of seismic shear-wave from strong earthquakes. It was calculated the station corrections for earthquakes with a magnitude above 5 occurred in 2012–2015 yy using the method of Nakamura. On the basis of the averaged data for each station was built dimensional distribution map of amplification factor for Azerbaijan. The total value of the factor varies within 1,5–3,6.

The maximum number observed in the zone of the Kura depression and Zakatala region, indicating that the layer of the earth's crust under the stations of the region to strengthen exposure the shear wave for source-receiver.

Key words: earthquake, seismic noise, the method of Nakamura, the site effect station amplification factor of transverse waves.

ЮБИЛЕИ

АНАТОЛИЮ ИВАНОВИЧУ ГАВРИШИНУ – 75!



Доктору геолого-минералогических наук, профессору Гавришину Анатолию Ивановичу 15 июля 2015 года исполнилось 75 лет.

А.И. Гавришин – профессор кафедры Прикладная геология ФГГи НД Южно-Российского государственного политехнического университета (Новочеркасского политехнического института) (ЮРГПУ (НПИ), академик РАЕН, член-корреспондент РАН.

А.И. Гавришин родился 15 июля 1940 г. на Дону в семье горного инженера, закончил с серебряной медалью среднюю школу №3 г. Новочеркаска и в 1962 г. – с отличием Новочеркасский политехнический институт.

Свой трудовой путь А.И. Гавришин начал в Центральной Геохимической партии «Уралгеолуправления» (г. Свердловск).

Он выполнял работы по обобщению гидрогеохимических данных по Уральскому региону, проводил опробование вод на колчеданных, золоторудных, редкометалльных и других типах месторождений, осуществлял геохимические поиски месторождений в регионе и вместе с коллегами разработал оригинальную «Прогнозную геохимическую карту Урала». В 1966–1970 гг. он обучался в заочной аспирантуре НПИ и защитил кандидатскую диссертацию.

С 1971 г. А.И. Гавришин работает в ЮРГПУ (НПИ) им. М.И. Платова.

А.И. Гавришин – крупный, известный в нашей стране и за рубежом ученый, успешно развивший Новочеркасскую гидрогеохимическую школу, один из основоположников Российской школы математической геологии и активный деятель Российской гидрогеохимической и экогеологической школ.

Он руководит научно-исследовательскими работами по развитию математико-статистических и компьютерных методов анализа геохимической информации, вывел новый статистический критерий «зет-квадрат» (Z^2 -Гавришина), создал уникальные компьютерные технологии классификации многомерных наблюдений (G -метод).

Им созданы и развиты основы учения о качестве геохимической информации. Система контроля качества гидрохимических определений была внедрена в 120 гидрохимических лабораториях СССР. Статистический критерий «зет-квадрат» и G -метод классификации многомерных наблюдений успешно применяются их автором, российскими и зарубежными специалистами при обобщении гидрогеологиче-

ских, космохимических, астрофизических и других видов данных по Земле, Луне, Марсу, Юпитеру, кометам, астероидам и в дальнем космосе.

А.И. Гавришин вместе с коллегами осуществляет масштабные научные исследования.

Он успешно развивает методику мониторинга урбанизированной геологической среды, спроектировал и организовал Новочеркасский геологический полигон. Им изучены и описаны гидрогеохимические закономерности формирования подземных и шахтных вод Восточного Донбасса, дан прогноз изменений химического состава шахтных вод при ликвидации угольных шахт, оценены перспективы обнаружения нефтегазовых скоплений в регионе. На основе метода классификации многомерных наблюдений изучены объекты и процессы на Земле, Луне, Марсе, кометах и в дальнем Космосе в рамках международного научного сотрудничества с Астрофизическим институтом Италии (г. Рим).

Возглавляемое им ООО «Акватер» при ЮРГПУ (НПИ) ведет значительную работу по подсчету запасов подземных вод региона, разработке программ мониторинга подземных вод на водозаборах, технологических схем-проектов водозаборов подземных вод, обобщению гидрогеохимических материалов, разработке мер по ослаблению геологических нагрузок в Восточном Донбассе в связи с ликвидацией угольных шахт.

Профессор Гавришин – авторитетный педагог и наставник. В течение 28 лет (1983–2011 гг.) он заведовал Кафедрой геологии, гидрогеологии и инженерной геологии ЮРГПУ (НПИ), которая подготовила более 2400 инженеров и номинирована в рамках программы «Золотой фонд отечественной науки», «Золотая кафедра России» и по Программе Европейской Научно-Промышленной Палаты (Брюссель) награждена дипломом Европейского качества «Diploma di Merito – Диплом за заслуги».

Результаты его исследований представлены более чем в 350 научных и учебно-методических публикациях, в том числе в 17 монографиях, учебных пособиях, брошюрах и более чем в 280 докладах на научных конференциях (64 международных). Более 100 работ опубликовано им в России и за рубежом в соавторстве с зарубежными коллегами из Италии, Франции, США, Германии.

Анатолий Иванович известен как Ответственный редактор 16 межвузовских сборников научных трудов по гидрогеологии и инженерной геологии, как председатель и член оргкомитета более 30 научных конференций.

Он – «Отличник разведки недр», «Заслуженный работник высшей школы РФ», «Заслуженный деятель науки и образования».

Награжден 11-ю орденами и медалями (орденом Петра Великого, Александра Великого и др., «Золотой Европейской медалью за выдающиеся достижения», медалью Вильгельма Лейбница (за достижения в математике), «Золотой медалью – Европейское качество» и др.).

Редколлегия журнала «Геология и геофизика Юга России», коллеги, ученики и друзья поздравляют Анатолия Ивановича Гавришина с юбилеем и желают крепкого здоровья и новых творческих успехов!

Главный редактор журнала,
директор Института,
д.ф.-м.н., профессор

В.Б. Заалишвили

**ГЕОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА
ЮГА РОССИИ
(№4. 2015г.)**

Подписано в печать 10.12.2015 г. Формат 60×84 1/8.

Усл. печ. лист 21,9. Гарнитура «Times».

Бумага офсетная. Печать цифровая. Тираж 100 экз.

**Издание зарегистрировано в Министерстве РФ по делам печати, телерадиовещания и средств
массовых коммуникаций. Свидетельство ПИ № ФС77-44273 от 17 марта 2011 г.**

Издатель:

**Геофизический институт Владикавказского научного
центра Российской академии наук**

Адрес редакции:

362002, РСО-А, г. Владикавказ, ул. Маркова 93а

тел. 8 (8672) 764084; факс 8(8672) 764056

e-mail: southgeo@mail.ru

<http://cgiras.ru/southgeo>

Отпечатано ИП Цопановой А.Ю.

362000, г. Владикавказ, пер.Павловский, 3.