

УДК 550.385.3, 550.343

СЕЙСМИЧНОСТЬ КРЫМСКО-КАВКАЗСКОГО РЕГИОНА (по результатам инструментальных наблюдений гидродинамических и сейсмических процессов)*

© 2015 г. Л.Е. Собисевич, Э.П. Потемка, А.Л. Собисевич,
Х.Д. Канониди, К.Х. Канониди, Д.А. Преснов, И.И. Суворова

Собисевич Леонид Евгеньевич – доктор технических наук, главный научный сотрудник, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, ул. Большая Грузинская, 10, г. Москва, 123995, e-mail: sobis@ifz.ru

Sobisevich Leonid Evgen'evich – Doctor of Technical Science, Main Researcher, Schmidt Institute of Physics of Earth RAS, Bolshaya Gruzinskaya St. 10, Moscow, 123995, Russia, e-mail: sobis@ifz.ru

Потемка Эдуард Петрович – кандидат технических наук, начальник партии геодинамических процессов, Всероссийский научно-исследовательский институт гидрогеологии и инженерной геологии, пос. Зеленый, Ногинский район, Московская обл., 142452, e-mail: potemka@mail.ru

Potemka Eduard Petrovich – Candidate of Technical Science, Head of Field Team on Geodynamic Processes, All-Russian Research Institute of Hydrogeology and Engineering Geology, Zeleny, Noginsk District, Moscow Region, 142452, Russia, e-mail: potemka@mail.ru

Собисевич Алексей Леонидович – доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, ул. Большая Грузинская, 10, г. Москва, 123995, e-mail: alex@ifz.ru

Sobisevich Alexey Leonidovich – Doctor of Physical and Mathematical Science, Head of the Laboratory, Schmidt Institute of Physics of Earth RAS, Bolshaya Gruzinskaya St. 10, Moscow, 123995, Russia, e-mail: alex@ifz.ru

Канониди Харлампий Дмитриевич – кандидат физико-математических наук, заведующий сектором магнитно-ионосферных взаимодействий, Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, г. Троицк, Московская обл., 142190, e-mail: kanonidi@izmiran.ru

Kanonidi Kharlampii Dmitrievich – Candidate of Physical and Mathematical Science, Head of Sector of Magnetic-Ionospheric Interactions, Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation RAS, Troitsk, Moscow Region, 142190, Russia, e-mail: kanonidi@izmiran.ru

Канониди Константин Харлампиевич – старший научный сотрудник, Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, г. Троицк, Московская обл., 142190, e-mail: kkkh@izmiran.ru

Kanonidi Konstantin Kharlampievich – Senior Researcher, Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation RAS, Troitsk, Moscow Region, 142190, Russia, e-mail: kkkh@izmiran.ru

Преснов Дмитрий Александрович – ведущий инженер, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, ул. Большая Грузинская, 10, г. Москва, 123995, e-mail: presnov@ifz.ru

Presnov Dmitrii Aleksandrovich – Leading Engineer, Schmidt Institute of Physics of Earth RAS, Bolshaya Gruzinskaya St. 10, Moscow, 123995, Russia, e-mail: presnov@ifz.ru

Суворова Ирина Ивановна – ведущий научный сотрудник, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, ул. Большая Грузинская, 10, г. Москва, 123995.

Suvorova Irina Ivanovna – Leading Researcher, Schmidt Institute of Physics of Earth RAS, Bolshaya Gruzinskaya St. 10, Moscow, 123995, Russia.

Приведены результаты инструментальных наблюдений гидродинамических и сейсмических процессов, которые были получены на базе Северокавказской геофизической обсерватории ИФЗ РАН (Эльбрусская вулканическая область) и включенных в ее состав наблюдательных пунктов ИЗМИРАН и ВСЕГИНГЕО МПР РФ, расположенных в европейской части России. Проанализированы результаты многолетних комплексных наблюдений с учетом и оценкой сведений о режимообразующих факторах, которые позволили составить обстоятельное представление о развивающихся геодинамических перестройках и оценить состояние сложной построенной геологической среды в этом сейсмоопасном регионе с выходом на прогнозирование разномасштабных сейсмических процессов.

Ключевые слова: геодинамические процессы, геодеформационный мониторинг, предвестники землетрясений, УНЧ вариации магнитного поля, прогнозирование сейсмической опасности.

* Работа выполнена при финансовой поддержке программы № 18 фундаментальных исследований Президиума РАН.

Following prolonged collaboration between the IPE RAS and the VSEGINGEO MNR the results of instrumental observations over hydrodynamic and seismic processes obtained in the Geophysical Observatory in Northern Caucasus (Elbrus volcanic area) and in the dedicated observation points located in the European part of Russia are presented. The results of long-term instrumental observations were analyzed simultaneously with specific estimations of principal factors allowing to better understand development of geodynamic reconstructions and to evaluate conditions in complex geological environment of the earthquake-prone region with respect to possible practical applications for prediction of multiscale seismic processes.

Keywords: *geodynamic processes, monitoring of geological deformation, earthquake precursors, ULF magnetic field variations, prediction of seismic hazard.*

Сложные геофизические и сейсмические процессы на территории Крымско-Кавказского региона обуславливаются особенностями его географического положения в пределах центрального сегмента Альпийско-Гималайского подвижного пояса. Наиболее известными сейсмическими событиями здесь являются катастрофическое землетрясение 20 февраля 1920 г. в Гори (Грузия), разрушительные землетрясения 1927 г. в Крыму, катастрофическое землетрясение, произошедшее 7 декабря 1988 г. в Спитаке, и ряд других. Из недавних событий следует отметить землетрясение 28 мая 2013 г. с магнитудой 5,2, эпицентр которого находился в 26 км к юго-западу от курортного города Теберда (43.19 С.Ш., 41.66 В.Д.).

В лабораториях Северокавказской геофизической обсерватории [1] ведется постоянный многопараметрический мониторинг окружающей среды. Изучаются наклонометрические, магнитовариационные, сейсмические процессы, контроль климатических параметров, геодеформационный и гидрологический скважинный мониторинг. Получаемые натурные данные дают возможность ученым анализировать напряженно-деформированное состояние геологической среды и проводить гидрогеохимический мониторинг газов глубинного генезиса (радон, торон, гелий) с целью оценки активности эндогенных процессов в региональном масштабе.

Комплексный анализ результатов экспериментальных наблюдений, учёт и оценка сведений о режимобразующих факторах позволяют составить обстоятельное представление о развивающихся геодинамических процессах и оценить состояние сложно построенной геологической среды в этом сейсмоопасном регионе с выходом на прогнозирование катастрофических сейсмических процессов.

На тектонические и геодинамические процессы Северо-Западного Кавказа влияют условия его геологического развития, приуроченность к разрывным сейсмогенерирующим и шовным зонам контактов структур первого порядка. В них прослеживаются дифференцированные тектонические движения, которые обуславливают сейсмическую активность [2].

Район Большого Сочи и прилегающие территории относятся к альпийской складчатой области

мегаантиклинория Большого Кавказа. Основными структурно-тектоническими элементами рассматриваемой площади, начиная от побережья Черного моря, являются Адлерская тектоническая депрессия (краевая зона Грузинской глыбы) и антиклиналь Ахцу-Кацирха. Они ограничены на северо-западе Курджипским, а на юго-востоке – Пицундским глубинными разломами, приуроченные к зоне сопряжения Сочи-Адлерской тектонической депрессии и Чвижепсинской структурно-фациальной (промежуточной) зоне. Северо-восточнее простирается антиклинорий Главного хребта. Район осложнен рядом мелких тектонических нарушений разного порядка и взаимоподчиненности [3]. Современные движения в пределах Большого Сочи сильно дифференцированы и характеризуются довольно низкими скоростями в пределах шельфовой области от 0,8 до 0,9 мм/г и до 8–12 мм/г в осевой части Главного Кавказского хребта.

Современные движения Большого Кавказа хорошо отображают особенности его морфоструктуры – наблюдается продольная зональность, выраженная в нарастании скоростей в меридиональном направлении от периферии горного сооружения к его осевой части и сопровождающаяся значительными градиентами. Южный склон Большого Кавказа характеризуется сменой сейсмической активности и сейсмических затиший. Например, в районе Красной Поляны 28 января 1909 г. было зарегистрировано землетрясение силой 6 баллов, 21–27 декабря 1955 г. – 7–8 баллов, 3 января 1956 г. – 6–7 баллов. Эпицентры землетрясений силой до 6 баллов сосредоточены в сравнительно узкой полосе вдоль кавказского берега Черного моря – от Сочи до Сухуми. Большинство эпицентров местных слабых землетрясений тяготеют к межблоковым шовным зонам.

Обращаясь к экспериментальным наблюдениям, отражающим сейсмическую активность в районе Западного Кавказа, и принимая во внимание результаты скважинных наблюдений во второй половине декабря 2012 г., проведенных нами в пределах центрального сегмента Северного Кавказа с целью оценки сейсмической активности в период подготовки к проведению Олимпийских игр, можно отметить, что напряженно-деформированное состоя-

ние геологической среды в регионе характеризовалось аномальными амплитудами уровней подземных вод (УПВ). По данным наблюдений за их изменениями, здесь к середине декабря сформирова-

лась обширная зона растяжения, отражающая условия подготовки сейсмических событий малых и средних энергий с общей вероятностью реализации в пределах радиуса 200 км (рис. 1).

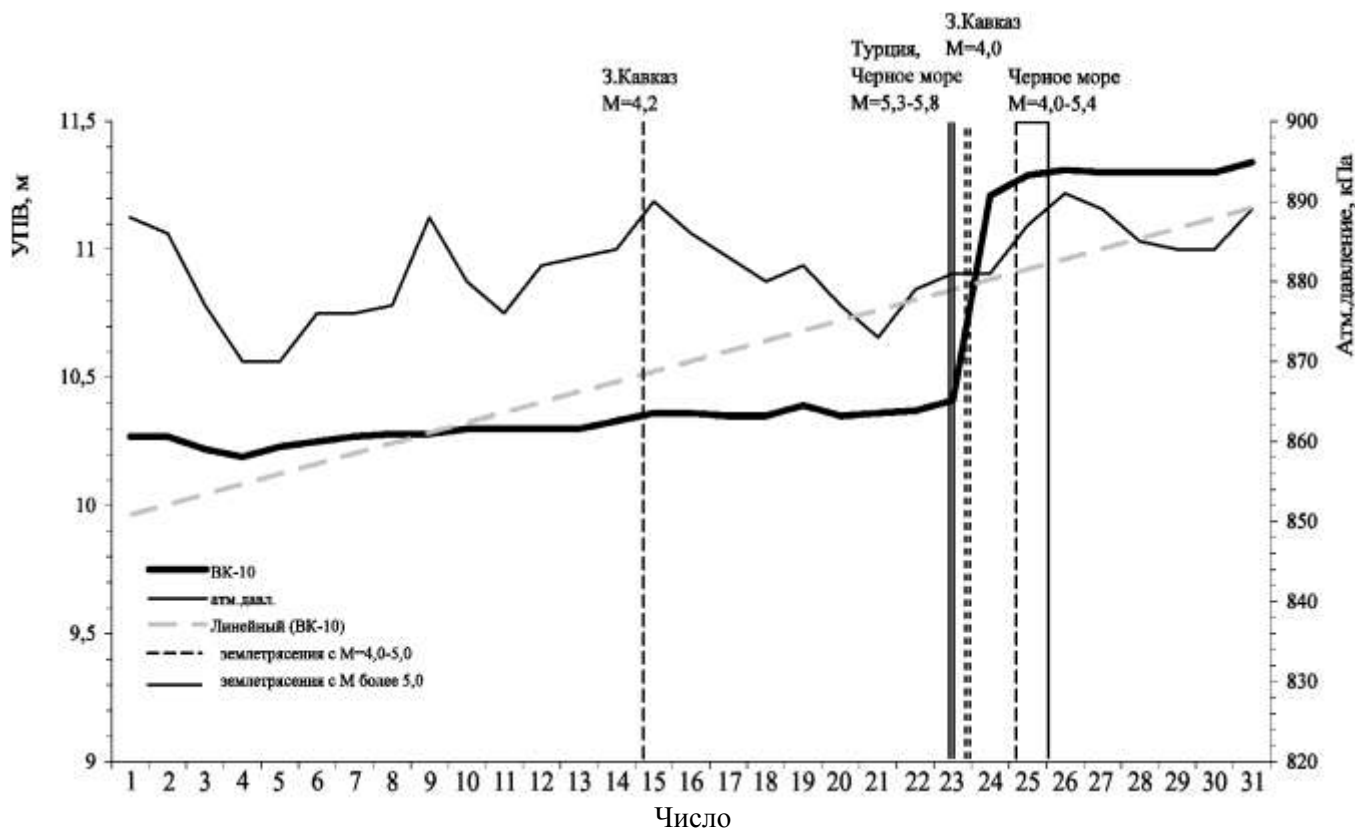


Рис. 1. Изменения уровня подземных вод в скважине и атмосферного давления за декабрь 2012 г. (центральный сегмент Северного Кавказа)

Заметный подъем УПВ в контрольных скважинах начался 15 декабря 2012 г. Причем по всем регистрируемым параметрам (температура подземных вод, объемные содержания радона, торона и гелия) тенденция трансформации напряжений сохранилась практически до 19 января 2013 г. Сейсмически активными в декабре 2012 г. являлись Терско-Сулакская зона прогибов; Новороссийско-Лазаревская складчатая зона; разлом I порядка в пределах юго-восточной части Восточно-Кубанского прогиба; складчатая зона Главного хребта на территории Грузии; область континентального шельфа Черноморской впадины, в зоне влияния глубинного разлома.

По результатам газогидрохимического мониторинга в годовом цикле была выявлена тенденция повышения объемного содержания гелия в воде на фоне сезонного увеличения выноса газа. Контрастное увеличение объемного содержания гелия в воде зафиксировано 15–16 и 27–28 декабря 2012 г.

(рис. 2). Именно в этот период сейсмическая активизация наблюдалась и на Кавказе, и на шельфе Черного моря.

Итак, опираясь на результаты геодеформационного мониторинга, отмечаемую в декабре активизацию напряженно-деформированного состояния геологической среды в изучаемом регионе мы отнесли к верхнефоновой по средним многолетним региональным оценкам. Наблюдаемые при этом аномалии в геофизических полях отражают развитие в районе Большого Сочи и на прилегающих территориях отдельных очагов напряжений, характерных для сейсмических событий, формирующихся на глубинах порядка 10–15 км с магнитудой от 3 до 5. Эти данные, обобщающие результаты проведенного газогидрогеохимического мониторинга, позволили перед Олимпийскими играми оценить геодинамическую обстановку в районе Большого Сочи и на прилегающих территориях как относительно спокойную.

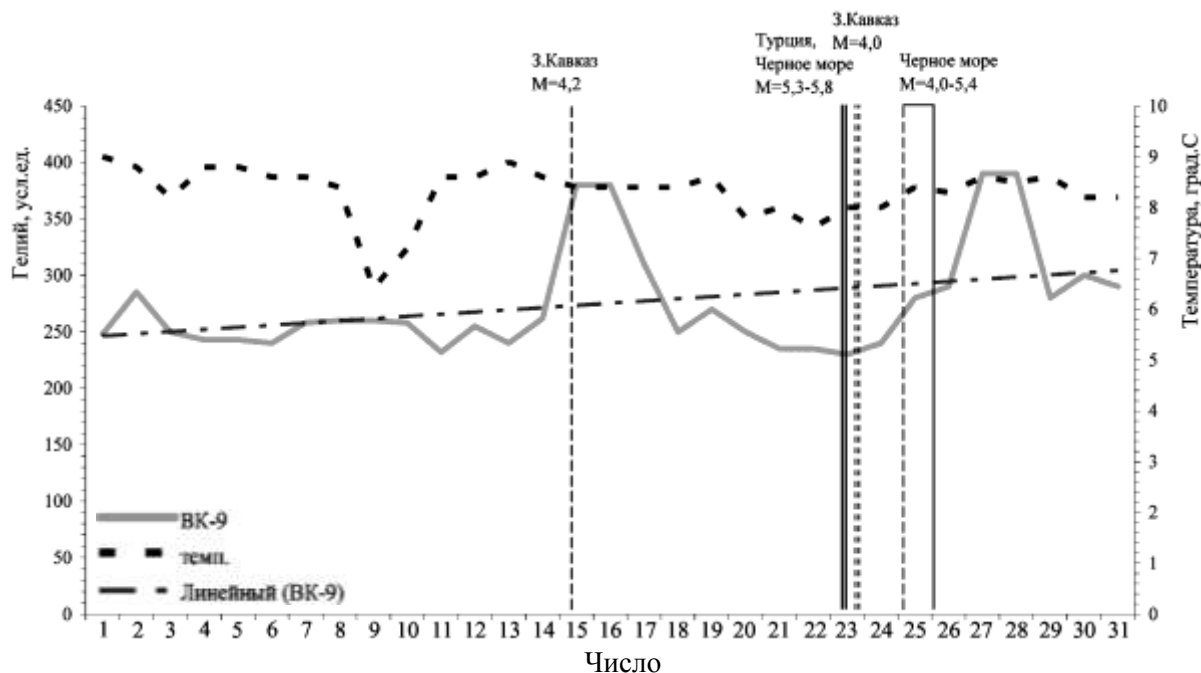


Рис. 2. Изменения содержания гелия в воде и температуры в скважине, декабрь 2012 г. (центральный сегмент Северного Кавказа)

Такое заключение было сделано исходя из того, что на большей части территории Северо-Кавказского региона состояние геологической среды в конце 2012 – начале 2013 г. оставалось на уровне фоновых значений. Отклонения наблюдались только в первой и второй декадах декабря, когда участилась повторяемость слабых сейсмических событий в регионе с магнитудами до 3,5, а уже в третьей произошло несколько заметных землетрясений.

Сетью сейсмических станций Геофизической службы РАН и аппаратурными комплексами Северокавказской геофизической обсерватории 23 декабря 2012 г. в 17.31 по московскому времени на шельфе Черного моря у побережья Абхазии, в 65 км к западу от г. Сухуми, было зафиксировано ощутимое землетрясение с магнитудой 5,6, глубина очага 10 км. Затем 25 декабря в Черном море у побережья Абхазии было ещё два землетрясения с магнитудами 5,4 и 4,4.

Говоря об указанных сейсмических событиях, отметим, что все они могут быть отнесены к коровым, характерным для Крымско-Кавказского региона. В этой связи представляет определенный научный интерес их сопоставительный анализ за последние годы [1]. Начнем с турецкого землетрясения 8 марта 2010 г. (08 02:32:34 UTC, координаты эпицентра 38.873° С.Ш., 39.981° В.Д., глубина 12 км, магнитуда 6,1) [4].

Приборы Северокавказской геофизической обсерватории (расстояние 590 км от эпицентра) и магнитные вариометры в районе пункта «Карпогоры» (Архангельская область, расстояние 2860 км от эпицентра) зафиксировали как сейсмические сигналы, так и магнитные возмущения, наведенные этим сейсмическим событием. Перед всеми землетрясениями наблюдались отчетливые магнитные предвестники. Регистрация и анализ данного класса магнитных сигналов от ближних коровых сейсмических событий являются значимыми с точки зрения понимания электромагнитных процессов, возбуждаемых при трансформации геологических структур.

Подготовка тектонического землетрясения – сложный геодинамический процесс. Существует несколько моделей, которые предложены для объяснения ряда наблюдаемых явлений, связанных с появлением предвестников и других возмущений, предвещающих разномасштабные сейсмические события. В числе предвестников выделяют и магнитные возмущения, природа которых до сих пор остается дискуссионной [1].

Сопоставляя полученные волновые формы магнитных возмущений, зарегистрированных на Северном Кавказе и в субавроральной зоне (Архангельская область), отметим появление характерных аномальных магнитных возмущений (своеобразных предвестников) за два с половиной часа до главного удара (рис. 3).

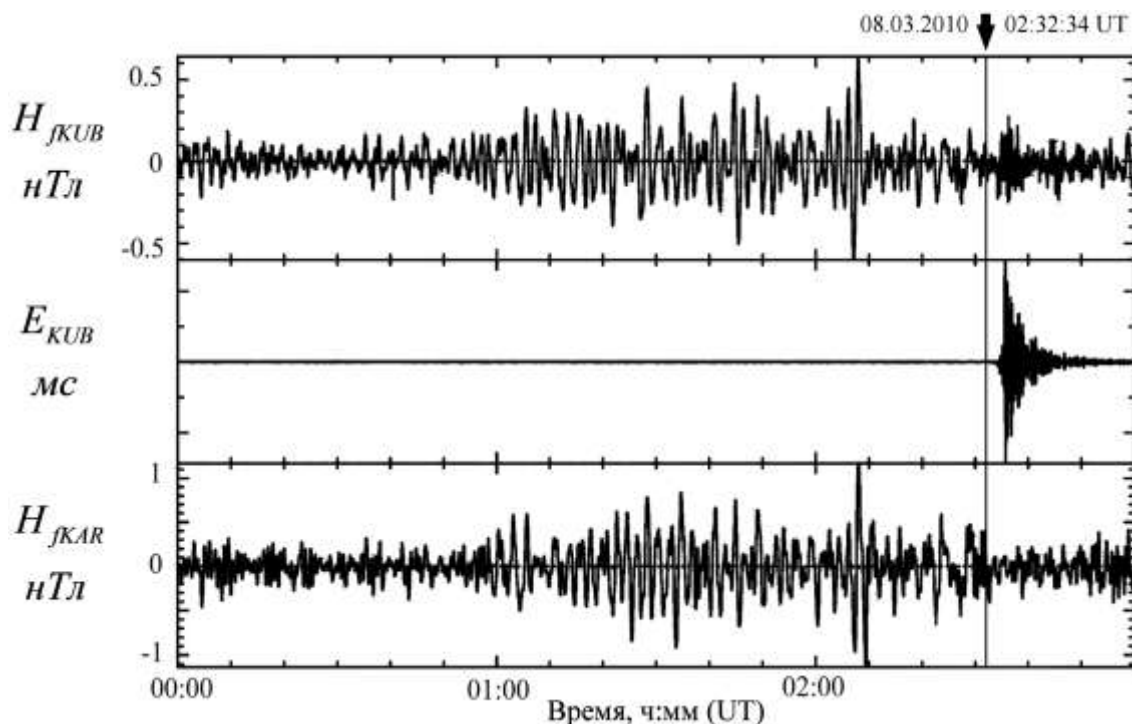


Рис. 3. Вариации магнитного поля Земли (H-компонета) и наклонов земной поверхности (E, «Восток–Запад»), зафиксированные в лаборатории № 4 Северокавказской геофизической обсерватории, а также в научном стационаре «Карпогоры» в период подготовки и развития землетрясения в Турции 03.08.2010 г. Данные магнитных вариометров профильтрованы в диапазоне периодов 20 – 300 с

Основные характеристики землетрясения на Западном Кавказе 19 января 2011 г. (время в очаге 09:17:53.7, координаты эпицентра: N 42.02, E 42.67, глубина 25 км, магнитуда 5,3) сопоставимы с рассмотренным выше турецким событием.

На рис. 4 приведены записи вариаций магнитного поля Земли (H, D, Z) и наклонов земной поверхности (EW), зарегистрированные информационно-измерительными комплексами лаборатории № 2 Северокавказской геофизической обсерватории в период подготовки и развития этого землетрясения. Полученные экспериментальные материалы позволяют выделить две области на магнитограммах (фрагменты 1 и 2), в которых проявились аномальные магнитные возмущения, предшествующие главному удару.

Как и в случае турецкого, зафиксированные аномальные магнитные возмущения в период подготовки и развития кавказского землетрясения отличаются характерной структурой и являются достаточно информативными предвестниками. Структура аномальных магнитных возмущений (краткосрочных предвестников) претерпевает заметные изменения на всех этапах подготовки и развития землетрясения, а их регистрация происходит как вблизи, так и на значительном расстоянии от эпицентра события (рис. 3).

Аналогичные результаты были получены и при анализе землетрясений в районе Большого Сочи, которые подробно проанализированы в нашей работе [5].

Комплексные гидрофизические и сейсмические наблюдения, связанные с изучением условий формирования и перестройки структур гидрогеодеформационного поля в периоды различной сейсмической активности на территории Северного Кавказа, позволили проследить, как подземная гидросфера реагирует на все региональные изменения напряжений в земной коре, включая и развитие процессов подготовки землетрясений. Подтверждено, что геодинамический мониторинг дает возможность получать обширную информацию о развивающихся геодинамических и сопутствующих сейсмических процессах в верхних слоях литосферы. Сведения, которые в настоящее время удается получить при оценке структурной перестройки геологической среды, составляют из-за ряда нерешенных пока научных и научно-методических вопросов лишь часть этой информации.

Время развития сейсмического процесса, связанного с подготовкой землетрясений, по данным геодинамического мониторинга во многих случаях устанавливается относительно точно (за 1–15 сут). Более проблематичным является прогноз места и точного времени сильного землетрясения.

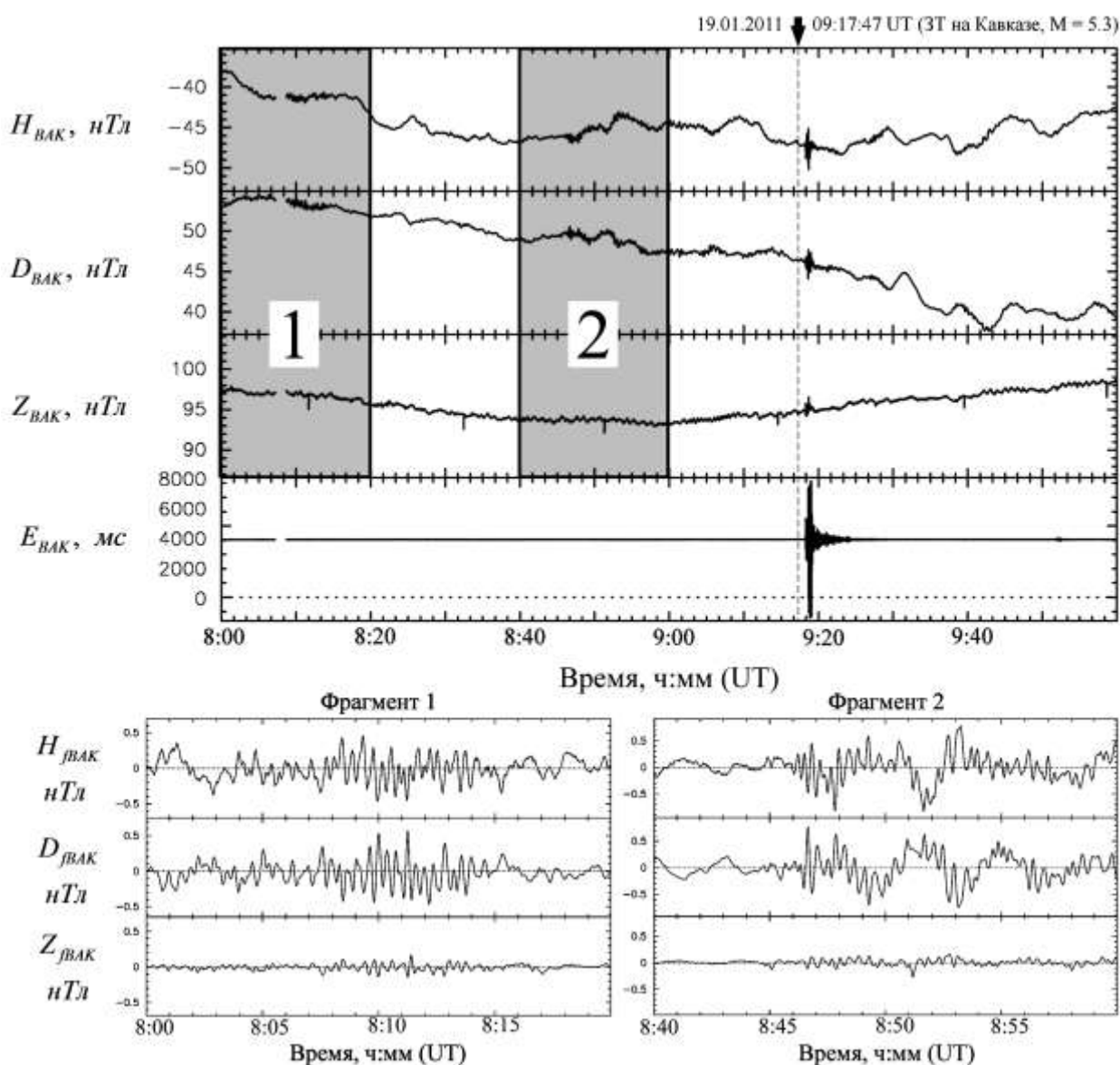


Рис. 4. Записи вариаций магнитного поля Земли ($H_{\text{ВАК}}$, $D_{\text{ВАК}}$, $Z_{\text{ВАК}}$) и наклонов земной поверхности ($E_{\text{ВАК}}$) информационно-измерительными комплексами Северокавказской геофизической обсерватории в период подготовки и развития сейсмического события на западном Кавказе 19.01.2011 г., а также результаты частотной фильтрации их фрагментов (полоса пропускания фильтра 30 – 300 с)

В региональной динамике поля напряжений просматривается пока лишь некоторая ориентация, указывающая предположительно на регион, в котором ожидается сейсмическое событие. В связи с этим необходимо дальнейшее, более углубленное, изучение природы структурной перестройки поля напряжений и возникающих в этой связи сопутствующих возмущений полевых структур.

Анализ аномальных вариаций магнитного поля Земли, которые предвещают развитие сейсмических событий, имеет важное фундаментальное и

прикладное значение. Получаемые здесь экспериментальные данные позволяют расширить наши знания в области изучения сложных механизмов подготовки и развития землетрясений как на суше, так и в море [6 – 8]. В ряде случаев аномальные магнитные возмущения могут быть использованы при построении прогностических алгоритмов, развиваемых в интересах построения специальных информационно-измерительных систем предупреждения о надвигающихся катастрофических землетрясениях, а приведенные выше развернутые волновые формы позволяют проследить за изме-

нениями, которые происходят в структуре аномальных магнитных возмущений по мере приближения главного сейсмического удара.

В заключение отметим, что представительный анализ сложных геодинамических и геофизических процессов в зоне подготовки сейсмического события рассмотрен в работах В.Н. Николаевского [9]. Согласно развиваемым им в течение многих лет подходам, на формирующиеся структуры в области подготовки сейсмических событий зоны сжатия и растяжения возникают практически одновременно. Как и при взрыве, избыточный объем зоны растяжения вытесняется (иначе говоря, контур зоны разрушения перемещается) во внешний упругий массив. На этом этапе в ходе упругопластического деформирования происходит важнейшее геофизическое явление, связанное с локализацией отдельных дилатантных структур. В развитие этого процесса появляются и поверхности скольжения. Локализация может быть ускорена поступлением флюидов в вакуумированное поровое пространство (в том числе атомарный водород), снижением поверхностной энергии Гриффитса свежих трещин, их быстрым прорастанием. Именно этим завершается внутреннее разрушение отдельных объемов наэлектризованных дилатантных структур, спонтанно формирующихся в очаге готовящегося землетрясения. Зоны разрушения «мгновенно» лишаются своего объема, а из зон упругого сжатия происходит динамическая отдача упругой и электромагнитной энергии.

Известно, что важным параметром, который отражает масштабы разуплотнения разломно-блоковых образований в земной коре, служит поведение коды S-волн. Следуя В.Н. Николаевскому, естественно полагать, что в масштабах региональной тектоники целые этажи земной коры могут работать как гигантские дилатирующие образования, обеспечивая условия для формирования очаговых зон [1, 9 – 13].

Результаты анализа наблюдений геодинамических и сейсмических процессов в Крымско-Кавказском регионе дают основания сделать оптимистический вывод о том, что прогнозированию места готовящегося сейсмического события способствовала бы разработка новых, более информативных технологий анализа геофизических полей на различных этапах перестройки геологической среды. Следует при этом учитывать, что современные наблюдательные пункты региональной прогностической сети, особенно в южных сейсмоактивных регионах России, расположены редко, что затрудняет определять место будущей сейсмической катастрофы. Базовым элементом геодинамического мониторинга должна быть комплекс-

ная (геофизическая, геохимическая и гидрогеологическая) сеть наблюдений с максимальным использованием существующей режимной гидрогеологической сети, глубоких и сверхглубоких скважин и ключевых участков контроля над развитием техногенных и экзогенных процессов.

Литература

1. Собисевич Л.Е., Канониди К.Х., Собисевич А.Л. Аномальные геомагнитные возмущения в вариациях магнитного поля Земли на этапах подготовки и развития глубокофокусных землетрясений // Докл. АН. Геофизика. 2013. Т. 453, № 3. С. 329 – 333.
2. Рогожин Е.А. Очерки региональной сейсмогеотектоники. М., 2012. 340 с.
3. Рогожин Е.А., Собисевич Л.Е. Волновые возмущения, наведенные коровыми землетрясениями (на примере двух сильных землетрясений в Кавказско-Анатолийском секторе альпийского Средиземноморского подвижного пояса) // Физика Земли. 2014. № 2. С. 148 – 156.
4. Дударов З.И., Канониди Х.Д., Канониди К.Х., Шевченко А.В. Регистрация вариаций магнитного поля в районе Эльбрусского вулканического центра во время сильных землетрясений на территории Кавказского региона // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Естеств. науки. 2011. № 4. С. 42–44.
5. Собисевич Л.Е., Канониди К.Х., Собисевич А.Л. О механизме формирования очагов глубокофокусных землетрясений // Докл. АН. Геофизика. 2014. Т. 459, № 1. С. 1 – 6.
6. Собисевич Л.Е., Канониди К.Х., Собисевич А.Л. Ультранизкочастотные электромагнитные возмущения, возникающие перед сильными сейсмическими событиями // Докл. АН. Геофизика. 2009. Т. 429, № 5. С. 1 – 4.
7. Собисевич Л.Е., Канониди К.Х., Собисевич А.Л. Наблюдения УНЧ геомагнитных возмущений, отражающих процессы подготовки и развития цунамигенных землетрясений // Докл. АН. Геофизика. 2010. Т. 435, № 4. С. 548 – 553.
8. Старостенко В.И., Собисевич А.Л., Кендзера А.В., Собисевич Л.Е., Шуман В.Н., Потемка Э.П., Канониди К.Х., Вольфман Ю.М., Гарифулин В.А. Черноморские землетрясения конца декабря 2012 года (геолого-геофизическая позиция, наведенные магнитные возмущения) // Геофиз. журн. 2013. № 6, Т. 35. С. 54 – 70.
9. Николаевский В.Н. Очаг землетрясения – события и предвестники удара // Экстремальные природные процессы и катастрофы. М., 2011. Т. 2. С. 316 – 322.
10. Николаевский В.Н. Обзор : земная кора, дилатансия и землетрясения. М., 1982. С. 133 – 202.
11. Собисевич А.Л. Избранные задачи математической геофизики, вулканологии и геоэкологии. Т. 1. М., 2012. 510 с.

12. Собисевич А.Л. Избранные задачи математической геофизики, вулканологии и геоэкологии. Т. 2. Северокавказская геофизическая обсерватория. Создание, анализ результатов наблюдений. М., 2013. 512 с.

13. Собисевич Л.Е., Собисевич А.Л., Канониди Х.Д., Канониди К.Х., Преснов А.Д. Инструментальные наблюдения аномальных геомагнитных возмущений, наведенных в геосферах при подготовке и развитии сейсмических событий // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Естеств. Науки. 2014. № 6. С. 42 – 51.

References

1. Sobisevich L.E., Kanonidi K.Kh., Sobisevich A.L. Anomal'nye geomagnitnye vozmushcheniya v variatsiyakh magnitnogo polya Zemli na etapakh podgotovki i razvitiya glubokofokusnykh zemletryaseni [Abnormal geomagnetic disturbances in the Earth's magnetic field variations in the stages of preparation and development of deep-focus earthquakes]. *Doklady AN. Geofizika*, 2013, vol. 453, no 3, pp. 329-333.

2. Rogozhin E.A. *Ocherki regional'noi seismotektoniki* [Essays of regional seismotectonics]. Moscow, 2012, 340 p.

3. Rogozhin E.A., Sobisevich L.E. Volnovye vozmushcheniya, navedennye korovymi zemletryasenyami (na primere dvukh sil'nykh zemletryaseni v Kavkazsko-Anatoliiskom sektore al'piiskogo Sredizemnomorskogo podvizhnogo poyasa) [The wave disturbance induced crustal earthquakes (for example, two strong earthquakes in the Caucasus-Anatolian Mediterranean sector of Alpine mobile belt)]. *Fizika Zemli*, 2014, no 2, pp. 148-156.

4. Dudarov Z.I., Kanonidi K.Kh., Kanonidi Kh.D., Shevchenko A.V. Registratsiya variatsii magnitnogo polya v raione El'brusskogo vulkanicheskogo tsentra vo vremya sil'nykh zemletryaseni na territorii Kavkazskogo regiona [Registering variations of the magnetic field in the area of Elbrus volcanic center during strong earthquakes in the Caucasus Region]. *Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskii region. Estestvennye nauki*, 2011, no 4, pp. 42-44.

5. Sobisevich L.E., Kanonidi K.Kh., Sobisevich A.L. O mekhanizme formirovaniya ochagov glubokofokusnykh zemletryaseni [On the mechanism of formation of pockets of deep-focus earthquakes]. *Doklady AN. Geofizika*, 2014, vol. 459, no 1, pp. 1-6.

6. Sobisevich L.E., Kanonidi K.Kh., Sobisevich A.L. Ul'tranizkochastotnye elektromagnitnye vozmushcheniya,

voznikayushchie pered sil'nymi seismicheskimi sobyitiyami [Ultra-low electromagnetic disturbances that occur before strong seismic events]. *Doklady AN. Geofizika*, 2009, vol. 429, no 5, pp. 1-4.

7. Sobisevich L.E., Kanonidi K.Kh., Sobisevich A.L. Nablyudeniya UNCh geomagnitnykh vozmushchenii, otrazhayushchikh protsessy podgotovki i razvitiya tsunamigennykh zemletryaseni [The observations of ULF geomagnetic disturbances, reflects the process of training and development of tsunami earthquakes]. *Doklady AN. Geofizika*, 2010, vol. 435, no 4, pp. 548-553.

8. Starostenko V.I., Sobisevich A.L., Kendzera A.V., Sobisevich L.E., Shuman V.N., Potemka E.P., Kanonidi K.Kh., Vol'fman Yu.M., Garifulin V.A. Chernomorskie zemletryaseniya kontsa dekabrya 2012 goda (geologo-geofizicheskaya pozitsiya, navedennye magnitnye vozmushcheniya) [Black Sea earthquake the end of December 2012 (geological and geophysical position, induced magnetic disturbances)]. *Geofizicheskii zhurnal*, 2013, vol. 35, no 6, pp. 54-70.

9. Nikolaevskii V.N. Ochag zemletryaseniya - sobytiya i predvestniki udara [The earthquake - the harbingers of events and stroke]. *Ekstremal'nye prirodnye yavleniya i katastrofy*. Moscow, 2011, vol. 2, pp. 316-322.

10. Nikolaevskii V.N. *Obzor: zemnaya kora, dilatatsiya i zemletryaseniya* [Overview: the crust, dilatancy and earthquakes]. Moscow, 1982, pp. 133-202.

11. Sobisevich A.L. *Izbrannye zadachi matematicheskoi geofiziki, vulkanologii i geoekologii* [Selected problems of mathematical geophysics, volcanology and geoecology]. Vol. 1. Moscow, 2012, 510 p.

12. Sobisevich A.L. *Izbrannye zadachi matematicheskoi geofiziki, vulkanologii i geoekologii* [Selected problems of mathematical geophysics, volcanology and geoecology]. Vol. 2. Severokavkazskaya geofizicheskaya observatoriya. Sozдание, analiz rezul'tatov nablyudeni [North Caucasian Geophysical Observatory. Create, analyze the results of observations]. Moscow, 2013, 512 p.

13. Sobisevich L.E., Sobisevich A.L., Kanonidi Kh.D., Kanonidi K.Kh., Presnov A.D. Instrumental'nye nablyudeniya anomal'nykh geomagnitnykh vozmushchenii, navedennykh v geosferakh pri podgotovke i razvitiu seismicheskikh sobytii [Instrumental observations of anomalous geomagnetic disturbances induced in the geosphere in the preparation and development of seismic events]. *Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskii region. Estestvennye nauki*, 2014, no 6, pp. 42-51.