

Дискуссии*

УДК 550.34.03

Краткосрочный прогноз землетрясения

© 2021 г. В.О. Волейшо

Поступила в редакцию 17.02.2020 г.

Аннотация. Представлена тектономагнитная модель формирования очага сильного землетрясения с позиции электромагнитного поля Земли. В основу модели сейсмического процесса положена идея магнитного взаимодействия геологических блоков, экранирующих при их сцеплении поток глубинных флюидов с образованием сейсмогенной структуры. Формирование в пределах сейсмогенной структуры очага сильного землетрясения сопровождается развитием аномального электромагнитного поля. Существование детерминированной причинно-следственной связи между аномальным электромагнитным полем сформировавшегося очага землетрясения и изменением атмосферного давления определяет возможность проведения краткосрочного прогноза времени, места и энергии землетрясения. Регистрация очага землетрясения барометрическим методом в процессе гидрогеодинамического мониторинга позволяет осуществлять его краткосрочное предсказание по времени, месту и силе. Дается обоснование и приведены примеры прогноза времени, географического положения и энергии сильных землетрясений в основных сейсмоактивных регионах России.

Ключевые слова: прогноз, землетрясение, очаг, атмосферное давление.

Для цитирования: Волейшо В.О. Краткосрочный прогноз землетрясения // Российский сейсмологический журнал. – 2021. – Т. 3, № 1. – С. 92–99. DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2021.1.06>

Введение

Краткосрочный прогноз землетрясения – это предсказание о том, что сейсмическое событие определённой энергии (магнитуды) произойдёт в определённом географическом месте (эпицентр, гипоцентр) и в определённое время (на часы–дни вперёд) [Уломов и др., 2002; Соболев, 1993]. Проблема краткосрочного прогноза землетрясения оказалась настолько трудной и сложной, что до сих пор не существует метода достоверного предсказания сейсмического события. Это связано, главным образом, с тем, что не известны физика очага зреющего землетрясения, механизм и основные закономерности сейсмического процесса.

Система гидрогеодинамического мониторинга основана на реакциях уровня подземных вод (УПВ) в наблюдательных скважинах, возникающих при изменении напряжённого состояния литосферы (сжатия, растяжения). Подъём уровня воды в скважине интерпретируется как напря-

жение сжатия подземной гидросферой, а их спад – как напряжение растяжения [Волейшо, 2011].

По данным гидрогеодинамического мониторинга региональной наблюдательной сети строятся карты распространения напряжения растяжения-сжатия (НРС) геологической среды, на основании которых судят о геодинамике изучаемого региона.

Опыт многолетнего (с 1985 г.) гидрогеодинамического (ГГД) мониторинга сейсмической опасности на базе специализированной наблюдательной региональной гидрогеологической сети, покрывающей сейсмоопасные регионы России, позволяет представить особенности процессов геологической среды при подготовке сильных землетрясений и аномальное поведение их предвестников.

Обсуждение результатов

При анализе геодинамических полей, контролирующих подготовку землетрясений, выделяются

* Мнение автора может не совпадать с позицией редакции.

два основных вида геологических процессов: дальное действие реакции геологической среды на подготовку очага землетрясения и быстрое действие структурных изменений геологической среды. Реакция уровня подземных вод (УПВ) региональной сети наблюдательных скважин на подготовку катастрофического землетрясения в Японии 11.03.2011 г. в 05^h46^m с $M=8.8$ [Маловичко и др., 2011] проявилась на расстоянии до 3000 км.

Структура ГГД-полей при подготовке землетрясения постепенно становится более упорядоченной и более устойчивой, появляется зональность рисунка, связанная, вероятно, с образованием долгоживущих сейсмогенных структур, проявляющихся зонами преимущественно напряжения сжатия. Продолжительность жизни таких структур может быть различной – от нескольких месяцев до нескольких лет, в зависимости от сейсмогеодинамических условий конкретного региона. После землетрясения сейсмогенные структуры долгое время не распадаются [Волейшо, 2011].

Аномальный гидрогеодинамический режим, возникающий при подготовке сильных землетрясений, связан, главным образом, с аномальным поведением в этот период региональных внешних факторов [Волейшо, 2015]. Анализ фактического материала, полученного при изучении реакции уровня подземных вод (УПВ) на региональные внешние факторы, показывает, что в процессе подготовки землетрясения в гидрогеодинамическом режиме возникает большое количество аномалий.

В асейсмический период зависимость уровня подземных вод от изменения атмосферного давления является противофазной: увеличению атмосферного давления соответствует падение уровня воды в скважине и наоборот.

В процессе подготовки сейсмического события в наблюдательных скважинах происходят синфазные изменения уровня подземных вод и атмосферного давления. Кроме этого, были зарегистрированы резкие обратимые перепады атмосферного давления на несколько десятков, а в отдельных случаях – и сотен ГПа.

Установлено, что накануне сильного сейсмического события уровни подземных вод в скважинах, расположенных в пределах очаговой зоны, не реагируют на лунно-солнечные приливы, а в пунктах наблюдений, находящихся за его пределами, этот параметр оказывается сильно изменённым (рис. 1).

В очаговой зоне сильных землетрясений Западно-Сибирского (Алтайские землетрясения) и Дальневосточного (Невельское, Симуширское

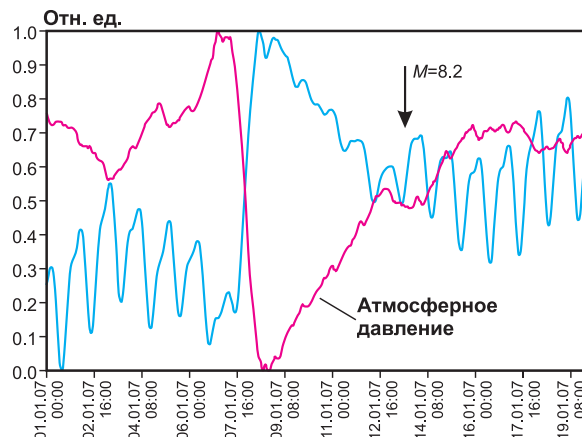


Рис. 1. Аномальное падение атмосферного давления за пять суток до Симуширского землетрясения (13.01.2007 г. 04^h23^m с $M=8.2$ [Сейсмологический ..., 2021]) в скважине № 1303 (Камчатка, Елизово).

Деформация лунно-солнечных полусуточных приливов в уровне подземных вод

и др. землетрясения) регионов, а также в Северо-Кавказском сейсмоактивном регионе зарегистрирован необычный факт исчезновения реакции УПВ на лунно-солнечные приливы и появление суточных приливных изменений атмосферного давления. Явления потери чувствительности подземных вод к лунно-солнечным приливным возмущениям и появления суточных приливных вариаций атмосферного давления перед землетрясением представляют огромный научный интерес и имеют большое практическое значение для предсказания землетрясения.

Анализ накопленной информации по различным сейсмоопасным регионам России (Северный Кавказ, Алтай, Байкал, Сахалин, Камчатка и Курильские острова) подтверждает наличие качественных связей между процессами, предшествующими землетрясению, и аномальной барической реакцией на это атмосферы.

Аномалии, появляющиеся в атмосфере при формировании очага землетрясения, проявляются формированием суточного лунно-солнечного ритма на графиках барометрического давления, замеренного в пунктах наблюдений, расположенных в пределах очаговой зоны (рис. 2).

При исследовании природы аномальной реакции атмосферного давления на подготовку сейсмического процесса было установлено, что изменение барического поля происходит только в пределах сформировавшегося очага готовящего землетрясения.

Дальнейший анализ этого явления показал, что очаг сильного землетрясения может быть

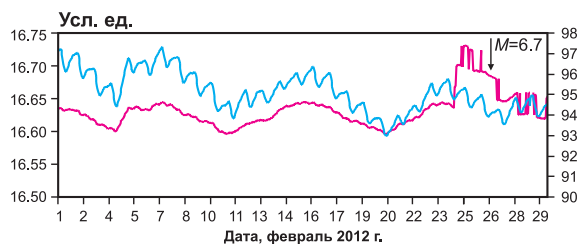


Рис. 2. Появление лунно-солнечного суточного ритма в атмосферном давлении. Колебание уровня подземных вод, синфазное с атмосферным давлением, исчезновение лунно-солнечного прилива в УПВ по скважине № 6020, расположенной в очаге готовящегося сильного землетрясения в районе г. Кызыла (Алтай), произошедшего 26.02.2012 г. в 06^h17^m с $M=6.7$ [Сейсмологический ..., 2021]

откартирован методом естественного импульсного электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ). По данным геофизического мониторинга, проводимого сотрудниками Дальневосточного регионального центра государственного мониторинга состояния недр (ГМСН), были установлены предвестники очага зреющего землетрясения в виде лунно-солнечного суточного хода ЕИЭМПЗ, которые за пределами этого очага отсутствуют. Аналогичные результаты при исследовании вариаций ЕИЭМПЗ получены на Северном Кавказе и в Алтайском регионе.

Данные ЕИЭМПЗ и временное распределение землетрясений Бусингольского сейсмоактивного очага (Алтай) впервые были приведены в отчёте государственного предприятия Красноярского края «Красноярский научно-исследовательский институт геологии и минерального сырья». На рис. 3 представлены совмещённые данные этих результатов. Землетрясение в рассматриваемом районе произошло 19.01.2008 г. в 07^h32^m с координатами эпицентра $\varphi=51.39^{\circ}\text{N}$, $\lambda=98.05^{\circ}\text{E}$ и с $M=4.7$ [Сейсмологический ..., 2021].

Реакция импульсов естественного электромагнитного поля Земли хорошо согласуется с основными стадиями подготовки землетрясения. На графике чётко прослеживается лунно-солнечная суточная приливная реакция ЕИЭМПЗ на подготовку сильного землетрясения. Ярко зарегистрирована стадия «сейсмического затишья» повышением интенсивности ЭМИ, которое указывает на увеличение электромагнитного поля в очаге готовившегося землетрясения. Форшоковый процесс вызвал, в свою очередь, резкий сброс интенсивности поля ЭМИ. Хорошо видно, что лунно-солнечный суточный ход, который чётко проявлялся в стадии «сейсмического затишья», был нарушен за двое суток до сильного землетрясения. На этом эффекте



Рис. 3. Данные ЕИЭМПЗ на станции наблюдения «Сарыг-Сеп» и временное распределение землетрясений, произошедших в районе Бусингольской сейсмоактивной зоны (Тувинский геофизический полигон)

исчезновения или деформации приливных колебаний уровня подземных вод (УПВ) основан краткосрочный прогноз времени сильного землетрясения [Чемпен, Линдзен, 1972]. Вслед за землетрясением вновь восстановился лунно-солнечный суточный ход, который окончательно исчез в середине марта 2008 г. после полного «угасания» очага. Последний афтершок был зарегистрирован 17.03.2008 г. в 04^h27^m с $M=4.7$ [Сейсмологический ..., 2021].

Таким образом, основные стадии подготовки землетрясения чётко проявляются и регулируются естественным электромагнитным полем Земли, лунно-солнечным суточным естественным импульсом электромагнитных сил Земли. Лунно-солнечный суточный ритм ЕИЭМПЗ возникает только в очаге готовящегося землетрясения, никогда не возникает за пределами очага землетрясения и исчезает после полного его угасания.

В наблюдательных пунктах, расположенных в очаговых зонах готовящихся землетрясений, ранее было зарегистрировано anomальное изменение атмосферного давления, которое сопровождается лунно-солнечными суточными приливными колебаниями этого давления. При анализе реакции атмосферного давления на формирование очага сильного землетрясения была установлена чёткая корреляция между аномалией барометрического давления и ЕИЭМПЗ.

По результатам барометрии в наблюдательном пункте № 6020, расположенном в очаговой зоне Бусингольского землетрясения, также зарегистрировано anomальное изменение атмосферного

давления, которое проявляется лунно-солнечными суточными приливными колебаниями этого давления (рис. 4). За пределами зоны действия очага будущего землетрясения, а также после его «угасания», лунно-солнечная суточная цикличность атмосферного давления, так же, как и ЕИЭМПЗ, не регистрируется (рис. 5).

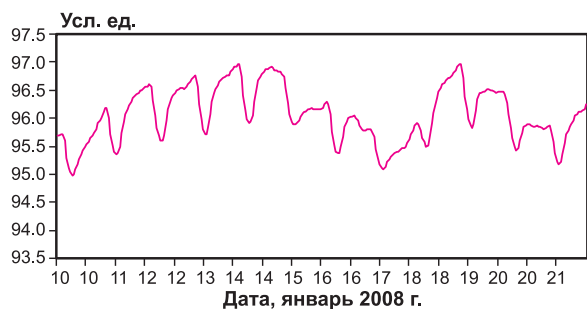


Рис. 4. Аномальное лунно-солнечное суточное приливное колебание атмосферного давления в пункте наблюдения № 6020, расположенном в пределах очага Бусингольского землетрясения



Рис. 5. График изменения атмосферного давления по данным барометрии в наблюдательном пункте № 6019, расположенном за пределами зоны действия очага Бусингольского землетрясения 19.01.2008 г. в 07^h32^m с $M=4.7$ [Сейсмологический ..., 2021] (Тувинский геодинимический полигон)

Интересные результаты, подтверждающие наши выводы о связи атмосферного давления с геомагнитным полем, получены Ю.Г. Кутиновым и З.Б. Чистовой [Кутинов, Чистова, 2006] в процессе изучения структуры барического поля над тектоническими структурами севера Русской плиты. Установлены участки аномального падения атмосферного давления над тектоническими узлами. Выявлено пространственное совпадение минимумов в структуре барического поля с границами увеличения магнитного поля, региональными и локальными магнитными аномалиями.

Нами предлагается тектономагнитная модель эволюции сейсмического процесса, составной частью которого являются сильные коровые зем-

летрясения [Волейшо, 2015]. Формирование очага готовившегося землетрясения проявляется электромагнитным излучением, этим и объясняется локальная магнитная буря. Поток электронов создаёт магнитную бурю на всём протяжении от очага землетрясения до магнитопаузы. Продолжительность и интенсивность магнитной бури определяется энергией готовящегося землетрясения. Магнитные бури, обусловленные исходом потоков электронов из очага землетрясения, создают интенсивные изменения магнитного поля на всём протяжении от очага до ионосферы включительно. Исследования, выполненные сотрудниками МИФИ для прогноза землетрясения из космоса, указывают на отсутствие какой-либо связи локальных магнитных бурь с солнечной активностью.

Многочисленные эксперименты показывают, что вариации магнитного поля очага землетрясения очень чётко регистрируются методом ЕИЭМПЗ. В соответствии с вариациями импульса электромагнитного поля Земли над очагом землетрясения, но противофазно, будет развиваться реакция атмосферного давления над этой зоной.

От нас не утаилась генетическая связь атмосферного давления и геомагнитного поля. Так как процесс формирования очага землетрясения протекает на фоне аномальных магнитных сил, то очаг зреющего землетрясения находит отражение в аномальном поведении атмосферного давления.

В нашем осознании экспериментальных результатов по связи атмосферного давления с геомагнитным полем форма пространственно-временной изменчивости барометрического давления над сейсмическим очагом отражает в атмосфере его размер и исполняет роль прогностического индикатора энергии и географического положения готовящегося землетрясения.

Карта изобар Алтае-Саянского сейсмического региона отображает состояние атмосферного давления над этой территорией на 10.01.2008 г. до Бусингольского землетрясения (за девять суток) (рис. 6). Полуэллипс, образованный двумя изобарами 965 и 960 ГПа, отображает восточную часть сформировавшегося очага Бусингольского землетрясения с координатами эпицентра 51.00°N, 94.7°E. Фактические координаты эпицентры этого землетрясения: 51.39°N, 98.05°E по [Сейсмологический ..., 2021].

Таким образом, координаты точки пересечения осей эллипса, сформировавшегося над очагом зреющего землетрясения, являются прогностическим показателем места будущего сейсмического

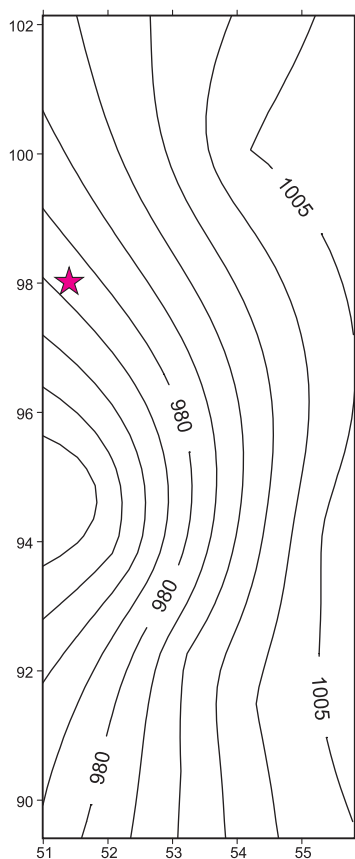


Рис. 6. Карта изобар Алтае-Саянского сейсмического региона за девять суток до Бусингольского землетрясения с обозначением эпицентра по [Сейсмологический ..., 2021]

события. Площадь эллипса отражает площадь очага землетрясения.

Сила землетрясения связана с размером очага землетрясения, отражённом в форме эллипса на карте изобар, и рассчитывается по эмпирической формуле Добровольского-Зубкова [Добровольский и др., 1980]:

$$M = (\lg R)/0.43,$$

где M – магнитуда готовящегося землетрясения, R – величина большой полуоси эллипса, км.

Для реализации реального краткосрочного прогноза сильного землетрясения нами разработана и представлена тектономагнитная модель сейсмического процесса, которая отражает природу и механизм подготовки очага сильного землетрясения.

Формирование очага сильного землетрясения очень чётко проявляется специфическим аномальным поведением атмосферного давления над этой зоной, играя роль площадного прогностического показателя силы готовящегося землетрясения и его географического положения.

Перепады атмосферного давления, как было показано на рис. 4 и 5, регулируются геомагнитным полем и отражают их аномальное состояние накануне землетрясения. Поскольку очаг землетрясения является аномальной геомагнитной зоной, эта зона находит аномальное отражение на синоптической карте в линиях изобар (барический способ краткосрочного прогноз землетрясений, рис. 6–9).

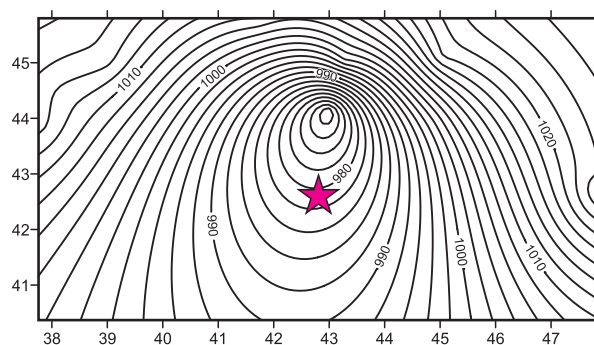


Рис. 7. Карта изобар над очагом Онийского землетрясения (Грузия) 07.09.2009 г. с $M=5.8$ с обозначением эпицентра по [Сейсмологический ..., 2021]

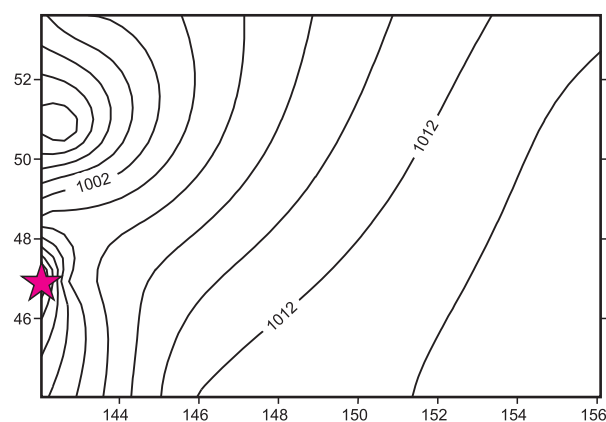


Рис. 8. Карта изобар за десять суток до Невельского землетрясения 02.08.2007 г. в $02^{\text{h}}37^{\text{m}}$ с $M=6.5$ с координатами эпицентра 46.90°N , 141.73°E по [Сейсмологический ..., 2021]

Ретроспективный анализ карт барометрического давления накануне сильных землетрясений, произошедших в различных сейсмоактивных регионах России (Кавказ, Байкал, Сахалин), наглядно отражает формирование над сейсмическим очагом аномальной зоны пониженного атмосферного давления. На карте изобар выделяется эллипсовидная форма циклона, отражая в атмосфере форму и место очага сильного землетрясения.

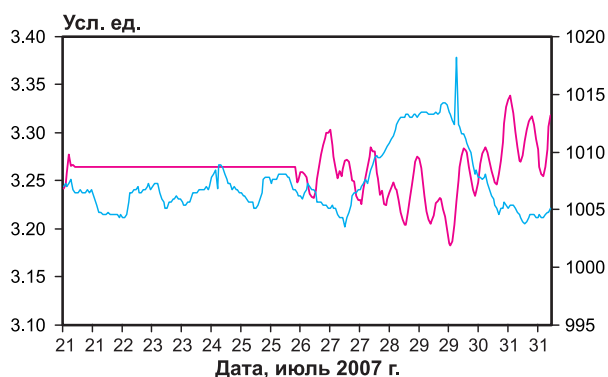


Рис. 9. Исчезновение лунно-солнечных полусуточных приливов атмосферного давления, используемых как краткосрочный показатель времени наступления землетрясения, за неделю (с 27.07.2007 г.) до Невельского землетрясения (02.08.2007 г. в 02^h37^m с $M=6.5$) по скважине № 2710 (о. Сахалин)

В райцентре Они (Грузия) 07.09.2009 г. в 22^h41^m произошло землетрясение с $M=5.8$ с координатами эпицентра 42.55°N, 43.34°E [Сейсмологический ..., 2021]. На рис. 7 приведена карта изобар, построенная по данным наблюдательных пунктов специализированной сети Северного Кавказа на дату 01.09.2009 года.

Прогноз места землетрясения, определяемого как точка пересечения двух полуосей эллипса, даёт координаты эпицентра 42.60°N, 42.81°E. Расчётная сила землетрясения, полученная по формуле Добровольского-Зубкова, составляет $M>6$. Это землетрясение по месту, времени и силе было предсказано, что нашло отражение в отчёте ВСЕГИНГЕО за июль-август 2009 года.

Из-за отсутствия необходимых и достаточных пунктов наблюдений рисунок эллипсов порой оказывается неполным. Плотность наблюдательных пунктов определяется силой землетрясения, которую требуется зарегистрировать. Исходя из эмпирической зависимости максимального радиуса проявления аномального атмосферного эффекта от магнитуды землетрясения, минимальная плотность сети наблюдения для регистрации барометрической аномалии, предвещающей землетрясения с магнитудой 5 и более, должна составить один пункт на площадь 10 тыс. км (100×100 км), с магнитудой 6 и более — один пункт на площадь 40 тыс. км (200×200 км), а с магнитудой 7 и более — один пункт на площадь 90 тыс. км (300×300 км) наблюдения.

С целью проверки предложенного нами простого и надёжного метода краткосрочного про-

гноза землетрясения предлагается произвести контроль достоверности нашей методики путём ретроспективного анализа произошедших землетрясений в любой стране. При необходимой и достаточной плотности наблюдательных пунктов, регистрирующих атмосферное давление, будут получены карты изобар и графики атмосферного давления, как прогнозные индикаторы произошедшего землетрясения.

Отражением критической стадии сейсмотектонического процесса (созревание очага сильного корового землетрясения) является появление на графике изменения барометрического давления суточных лунно-солнечных колебаний и формирование над сейсмическим очагом аномальной зоны атмосферного давления (сейсмического циклона) [Соболев, 1993].

Начиная с середины мая 2014 г., по скважине № 3021, расположенной у подножья горы Эльбрус, наблюдается суточная лунно-солнечная гармоника (рис. 10). Результаты геолого-геофизических исследований южного склона Эльбруса подтверждают, что вулкан является потенциально активным. На глубинном разрезе чётко проявились вулканический очаг и камера.

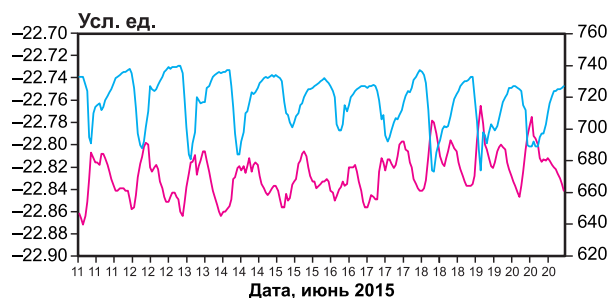


Рис. 10. Графики атмосферного давления (верхний ряд) и изменения уровня подземных вод (нижний ряд)

На основании полученного фактического материала (рис. 10) даётся прогноз активизации сейсмотектонического процесса в районе Эльбруса, который может развиваться по следующим сценариям: извержение вулкана с сильным землетрясением; сильное землетрясение без извержения магмы [Соболев, 1993].

Заключение

Существование детерминированной причинно-следственной связи между изменением атмосферного давления над сформировавшимся очагом землетрясения и его электромагнитным полем определяет успех проведения краткосрочного прогноза времени, места и силы

землетрясения. Краткосрочным прогностическим показателем времени сильного землетрясения является исчезновения лунно-солнечного суточного хода ЕИЭМПЗ или атмосферного давления (рис. 5, 8).

Использование барометрии в качестве краткосрочного предвестника времени землетрясения по участку плавно затухающих колебаний атмосферного давления на фоне периодических лунно-солнечных и суточных его изменений позволяет определить период до начала землетрясения. Барометрический метод позволяет определить географическое положение (эпицентр или гипоцентр) будущего землетрясения по конфигурации сейсмического циклона, который на карте изобар отображается в форме эллипса, а по его величине – силу сейсмического события. Пересечение осей этого эллипса указывает на эпицентр или гипоцентр будущего землетрясения. Сейсмический циклон, формирующийся над очаговой зоной готовящегося землетрясения, отличается от синоптического по нескольким признакам. Главным отличием сейсмического циклона от синоптического является стабильность его пространственного положения во времени. Сейсмический циклон постоянно расположен над очагом будущего землетрясения. Сейсмический циклон, в отличие от синоптического, вращается в противоположную сторону: в северном полушарии – против часовой стрелки, а в южном – по часовой. Изобары, которые отображают циклон, отражающий очаг готовящегося землетрясения, являются универсальным сейсмическим предвестником. Универсальность барометрического прогностического метода заключается в его пригодности для любого сейсмического района планеты. Этот метод обладает ретроспективностью, позволяющей проверить

достоверность способа на любых сильных землетрясениях, произошедших в любом сейсмоактивном регионе планеты.

Литература

- Волейшо В.О.* Введение в гидрогеосейсмологию (Гидрогеодинамический аспект). – Ногинск: Штерн, 2011. – 196 с.
- Волейшо В.О.* Концептуальная модель эволюции сейсмического процесса // Разведка и охрана недр. – 2015. – № 4. – С. 46–51.
- Добровольский И.П., Зубков С.И., Мячкин В.И.* Об оценке размеров зоны проявления предвестников землетрясений // Моделирование предвестников землетрясений. – М.: Наука, 1980. – С. 7–44.
- Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б.* Особенности структуры барического поля в узлах тектонических нарушений // Геофизика XXI столетия: 2005 год. Материалы конференции. – М.: Новый мир, 2006. – С. 125–132.
- Маловичко А.А., Старовойт О.Е., Габсатарова И.П., Коломиец М.В., Чепкунас Л.С.* Катастрофическое землетрясение Тохоку 11 марта 2011 г. в Японии // Сейсмические приборы. – 2011. – Т. 47, № 1. – С. 5–16.
- Сейсмологический каталог (сеть телесеизмических станций) // ФИЦ ЕГС РАН [сайт]. – URL: ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic_bulletin/ (дата обращения 01.03.2021).*
- Соболев Г.А.* Основы прогноза землетрясений. – М: МАИК «Наука/Интерпериодика», 1993. – 313 с.
- Уломов В.И., Полякова Т.П., Медведева Н.С.* О долгосрочном прогнозе сильных землетрясений в Центральной Азии и в Черноморско-Каспийском регионе // Физика Земли. – 2002. – № 4. – С. 31–47.
- Чемпен С., Линдзен Р.* Атмосферные приливы. Термические и гравитационные. – М.: Мир, 1972. – 292 с.

Сведения об авторе

Волейшо Владислав Оскарович, д-р геол.-мин. наук, пенсионер, бывший вед. науч. сотр. сектора прогноза землетрясений бывшего Института гидрогеологии и инженерной геологии (ВСЕГИНГЕО) Министерства природных ресурсов России, пос. Зелёный, Московская обл., Россия. E-mail: vlad.voleisho@yandex.ru

Short-term earthquake forecast

© 2021 V.O. Voleyshe

Received February 24, 2020

Abstract In the manuscript, a tectonomagnetic model of forming the source zone of a strong earthquake is presented from the position of the electromagnetic field of Earth. The model is based on the idea of magnetic interaction between geological blocks screening, when the bond to each other by adhesion, a flux of abyssal fluids with the formation of a seismogenic structure. The source zone of strong earthquakes formed inside the seismogenic structure is followed by the development of an anomalous electromagnetic field. The existence of the deterministic cause-and-effect relationship between anomalous electromagnetic field inside the formed earthquake source and a change in atmospheric pressure determines the possibilities of conducting short-term prediction of time, place, and force of the earthquake. Registration of the earthquake source zone by barometric method during hydrogeodynamic monitoring makes it possible to make short-term predictions of it by time, place, and force. The substantiation and examples are given for short-term prediction of time, geographical location, and force of strong earthquakes in basic seismically active regions of Russia.

Keywords prediction, earthquake, source, atmospheric pressure.

For citation Voleyshe, V.O. (2021). [Short-term earthquake forecast]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Seismology], 3(1), 92-99. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2021.1.06>

References

- Champen, S., & Lindzen, R. (1972). *Atmosfernye prilivy. Termicheskie i gravitatsionnye* [Atmospheric tides. Thermal and gravitational]. Moscow, Russia: Mir Publ., 292 p. (In Russ.).
- Dobrovolskii, I.P., Zubkov, S.I., & Miachkin, V.I. (1980). [Estimation of the size of the zone of manifestation of earthquake precursors]. In *Modelirovanie predvestnikov zemletriasenii* [Modeling of earthquake precursors] (pp. 7-44). Moscow, Russia: Mir Publ. (In Russ.).
- GS RAS. (2021). Catalogues of Teleseismic Stations. Retrieved from ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic_Catalog/
- Kutinov, Yu.G., & Chistova, Z.B. (2006). [Features of the structure of the baric field at the nodes of tectonic faults]. In *Materialy konferentsii "Geofizika XXI stoletia: 2005 god"* [Proceedings of the conference "Geophysics of the XXI century: 2005"] (pp. 125-132). Moscow, Russia: Novy Mir Publ. (In Russ.).
- Malovichko, A.A., Starovoit, O.E., Gabsatarova, I.P., Kolomiets, M.V., & Chepkunas, L.S. (2011). [Catastrophic Tohoku Earthquake of 11 March, 2011 in Japan]. *Seismicheskie pribory* [Seismic Instruments], 47(1), 5-16. (In Russ.).
- Sobolev, G.A. (1993). *Osnovy prognoza zemletriasenii* [Basics of earthquake prediction]. Moscow, Russia: MAIK "Science/Interperiodica" Publ., 313 p. (In Russ.).
- Ulomov, V.I., Polyakova, T.P., & Medvedeva, N.S. (2002). [On the long-term forecast of strong earthquakes in Central Asia and the Black Sea-Caspian region]. *Fizika Zemli* [Izvestiya. Physics of the Solid Earth], 4, 31-47. (In Russ.).
- Voleyshe, V.O. (2011). *Vvedenie v gidrogeoseismologiiu. (Gidrogeodinamicheskii aspekt)* [Introduction to Hydrogeoseismology. (Hydrogeodynamic aspect)]. Noginsk, Russia: Stern Publ., 196 p. (In Russ.).
- Voleyshe, V.O. (2015). [Conceptual model of the evolution of the seismic process]. *Razvedka i okhrana nedr* [Prospect and protection of mineral resources], 4, 46-51. (In Russ.).

Information about author

Voleyshe Vladislav Oskarovich, Dr., retired person, former Leading Researcher of the Institute of Hydrogeology and Engineering Geology (VSEGINGEO), Ministry of Natural Resources of Russia, Moscow Region, Russia. E-mail: vlad.voleyshe@yandex.ru