

ется по типу структуры того иерархического ранга, который в общем индексе указан последним.

Например, Тимано-Печорский сложный артезианский бассейн — fII, Печоро-Предуральский предгорный артезианский бассейн — bII-B.

Нам представляется, что при предложенной системе индексации для структур второго и третьего порядков теряется информация о типе гидрогеологической структуры более высокого ранга. Поэтому каждому порядку следует присвоить индекс, в котором присутствует информация о предшествующей структуре: I-му порядку остается принятое правило, т.е. fII; II-му порядку — fII-сБ; III-му порядку fII-сБ-с3. Дополнительное правило: тип сложных гидрогеологических структур I-го порядка обозначается английскими буквами верхнего регистра (заглавными); номер структуры — римскими цифрами. Тип гидрогеологических структур II-го порядка обозначается английскими буквами нижнего регистра; номер структуры — русскими заглавными буквами. Тип гидрогеологических структур III-го порядка обозначается английскими буквами нижнего регистра; номер структуры — арабскими цифрами. Таким образом, индексация будет выражаться следующим образом: структуры I-го порядка — FII; II-го — FII-сБ; III-го — FII-сБ-с3.

Выводы

1. На современном этапе имеется научно-методическая база для обоснованного ОГГР, однако имеются слабые моменты существующей методики и карт гидрогеологического районирования, к которым можно отнести принципы проведения и фактическое обоснование границ гидрогеологических структур, недостаточно детальное описание гидрогеологических структур и практически отсутствие учета области современного вулканизма.

2. В целом перечень, наименование и границы артезианских бассейнов, выделенных и обоснованных в прежних работах и зафиксированных на карте гидрогеологического районирования территории Российской Федерации масштаба 1:2 500 000 (для ведения мониторинга подземных водных объектов), которая принята Федеральным агентством по недропользованию (протокол от 07.02.2012 № 18-83-пр), подтверждаются настоящими исследованиями.

3. Трассировка границ артезианских бассейнов для территорий (регионов) с активной, контрастной тектонической структурой и соответственно четкими геологическими границами не вызывает трудностей и практически границы могут быть обоснованы без вариантов. Более проблематичны границы артезианских бассейнов на платформах, в регионах со «сглаженной» «нечеткой» тектонической структурой. Трассировка границ третьего порядка, как правило, особенно для Восточно-Европейского региона, может быть только условной. Обоснование границ в таких «тектонически стертых» регионах нужно принимать на основе комплексной аналитики всех природных условий.

4. В связи с этим целесообразно придерживаться определенных правил, аргументированных решений, тактики гибкого и критического подхода при применении действующих принципов; придерживаться правил,

по которым в связи со сложностью и многообразием природных условий возможны варианты отступления от жестких принципов. Следует учитывать практическую значимость применения общего гидрогеологического районирования, когда оно является основой обеспечения населения ресурсами питьевых и минеральных подземных вод, основой оценки и воспроизводства минерально-сырьевой базы подземных вод. В крайних «неразрешимых» случаях прибегать к разумному консенсусу.

5. Целесообразно границы гидрогеологических структур I и II порядков принять незыблемыми для всех масштабов гидрогеологических карт и актуализировать их только после тщательного обоснования на основе появления новых данных о природных условиях исковой территории.

ЛИТЕРАТУРА

1. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (новая серия). Лист Q-40, 41 — Воркута. Объяснительная записка. — СПб.: МПР России, ВСЕГЕИ, 2001. — 342 с.+ 8 вкл.
2. Карта гидрогеологического районирования территории Российской Федерации масштаба 1: 2 500 000. ФГУП «Гидроспецгеология», 2011 г. — М.: Роснедра, 2012.
3. Куренной В.В., Барон В.А., Соколовский Л.Г. и др. Создание гидрогеологической карты Российской Федерации масштаба 1: 2 500 000. — ФГУП «ВСЕГИНГЕО», 2008.
4. Льготин В.А., Макушин Ю.В. и др. Аналитический обзор состояния недр территории Сибирского федерального округа Российской Федерации за период 2005–2009 гг. Выпуск 1. — Томск: Томскгеомониторинг, 2010.
5. Методические рекомендации по составлению карт гидрогеологического районирования масштаба 1: 2 500 000, схем гидрогеологической стратификации и классификаторов объектов гидрогеологического районирования и стратификации (Методическое письмо). — М.: МПР России, 2002.
6. Методическое руководство по составлению и подготовке к изданию листов Государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1:1 000 000 (третьего поколения). — М.-СПб.: Роснедра, 2007. — 174 с.
7. Островский Л.А., Антыпко Б.Е., Конюхова Т.А. Методические основы гидрогеологического районирования территории СССР. — М.: Мингео СССР, ВСЕГИНГЕО, 1990.
8. Островский Л.А., Конюхова Т.А., Кузнецова Т.А. Составление карты гидрогеологического районирования бассейнов местного стока масштаба 1:1 500 000–1:1 000 000 и перечня бассейнов для ведения ГВК на региональном уровне. — Мос. обл., п. Зеленый: ВСЕГИНГЕО, 1998.
9. Островский Л.А., Конюхова Т.А., Пугач С.Л., Шпак А.А. Карта гидрогеологического районирования Российской Федерации масштаба 1: 2 500 000. ФГУП «ВСЕГИНГЕО», Госцентр — «Геомониторинг». — М., 2001.

© Челидзе Ю.Б., 2015

Челидзе Юрий Борисович // jurbor37@mail.ru

УДК 550.8:550.394

Куликов Г.В. (ФГУП «Гидроспецгеология»), Рыжов А.А. (ФГУП «ВСЕГИНГЕО»)

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОГНОЗА ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПО ДАННЫМ МОНИТОРИНГА ГИДРОГЕОДЕФОРМАЦИОННОГО ПОЛЯ

Для совершенствования системы мониторинга гидрогеодеформационного (ГГД) поля, повышения его геодинамической информативности во ВСЕГИНГЕО разработаны и апробированы новые методы оперативной оценки сей-

смической опасности по энергетическим параметрам и векторам напряжений, циклам гидрогеологических импульсов и объединяющим их аттракторам. Эти методы дают возможность прогнозировать время, ориентировочно место и с высокой достоверностью магнитуду предстоящего землетрясения. По результатам ретроспективного анализа землетрясений в различных регионах был построен калибровочный график, позволяющий по значениям суммарной кинетической энергии определить ожидаемую магнитуду землетрясения. Продemonстрировано успешное применение указанных методов.

Ключевые слова: землетрясение, прогноз, гидрогеодеформационный мониторинг, сейсмическая опасность, магнитуда.

Kulikov G.V. (Hydrospetsgeologia), Ryzhov A.A. (VSEGINGEO)
 PROSPECTS OF GEODYNAMIC ACTIVITY FORECAST
 USING HYDROGEODEFORMATION FIELD MONITORING
 DATA

In order to improve the HGD-field monitoring system and to increase its geodynamic informativity VSEGINGEO has developed and approved new methods of operative estimation of a seismic hazard basing on the field's energy parameters and vectors of strain, cycles of hydrogeological impulses and attractors combining them. These methods make it possible to predict time, a rough place and magnitude of a forthcoming earthquake. By results of the retrospective analysis of earthquakes, happened in various regions, a calibration graph has been plotted which allows to define the expected magnitude of an earthquake using the values of total kinetic energy. Successful application of the above-mentioned methods was demonstrated on the example of two strong earthquakes on the territory of Russia.

Key words: earthquake, forecast, hydrogeodeformation monitoring, seismic hazard, magnitude.

Основой применения ГГД мониторинга является высокая чувствительность подземных вод к изменению давления в водоносном горизонте, возникающему вследствие различных внешних и внутренних причин. Для регистрации изменения давления применяется специальная обработка данных ГГД мониторинга, сводящаяся к вычислению энергетических характеристик воды в скважине. На рис. 1 показано изменение потенциальной и кинетической энергии воды в скв. 1301, расположенной на полуострове Камчатка в 100 км от

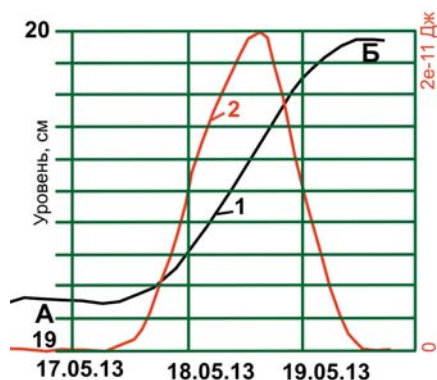


Рис. 1. Потенциальная (1) и кинетическая (2) энергия воды в скв. 1301

очага землетрясения с магнитудой 6,2, проявившегося 21.05.2013 г., спустя 3 сут. после регистрации наблюдаемых изменений. Фактически на рис. 1 изображены предвестники будущего события — землетрясения. Отметим, что потенциальная энергия воды — кривая 1 — характеризует работу по поднятию уровня воды из состояния А в состояние Б. Эта работа совершается в результате действия сил, приводящих к возникновению напряженного состояния пород водоносного горизонта. Таким образом, в данном случае кривая 1 характеризует напряженное состояние пород в круге радиусом 100 км. Кривая 2 на рис. 1 отображает кинетическую энергию движущейся в скважине воды. Так как движение воды в скважине возникает в результате деформации порового пространства водоносного горизонта, то эта кривая является индикатором деформации порового пространства в круге радиусом 100 км. В положении А и Б движения воды нет, так как уровень воды находится в стационарном состоянии, а следовательно, нет и деформации. Деформация и ее индикатор — кинетическая энергия — служат мерой активности водоносного горизонта, а потенциальная энергия — мерой напряженного состояния пород водоносного горизонта. Определение потенциальной и кинетической энергии и метод их вычисления даны в статье [3].

Деформация пород возникает в результате сил (внешних — атмосферное давление и внутренних — взаимодействие блоков), удаленных от зоны неоднородности, в которой будет развиваться очаг будущего землетрясения. По оценке Гольдина [1], если для всего объема деформирующей толщи упругие деформации не превышают 10^{-6} – 10^{-7} , то увеличение или уменьшение пористости водонасыщенных пород может достигать $n \cdot 10^{-4}$. Этим можно объяснить довольно четкое отражение подземной гидросферой периодов активизации деформационных процессов в земной коре. В зоне упругой деформации изменение пористости водонасыщенных пород на указанную ничтожно малую величину приводит в случае сжатия пород к оттоку воды из водоносного горизонта в скважину, а в случае растяжения — к притоку воды в водоносный горизонт из скважины. При этом процессе в случае притока происходит пополнение емкостных запасов, а в случае оттока — их убыль. Таким образом, чтобы повысить (или понизить) уровень воды в скважине хотя бы на 1 см, нужно отжать воду (или закачать) из довольно большой области водоносного горизонта, окружающей скважину.

Связь магнитуды землетрясения с геометрическими размерами зоны неоднородности

Магнитуда и размер очага землетрясения связаны определенной корреляционной зависимостью [2]:

$$\lg A = 1,02M + 5,96, \quad (1)$$

где А — площадь очага, М — магнитуда. Эта выявленная зависимость не может быть использована для предсказания магнитуды, так как площадь очага становится известной только после землетрясения в процессе сейсмических деформаций.

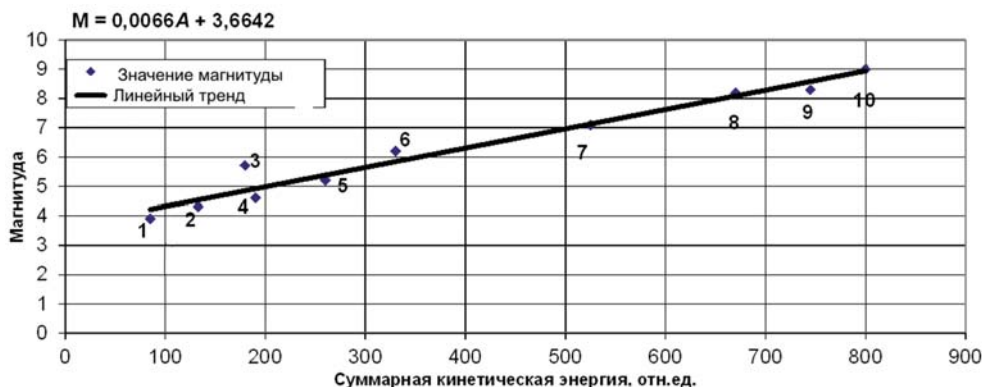


Рис. 2. Калибровочный график, отражающий зависимость магнитуды от суммарной кинетической энергии ГГД поля. Индексы землетрясений: 1, 2 — мелкие кавказские; 3 — Чеченское (Курчалоевское); 4–6 — соответственно 1, 2 и 3-й предвестники землетрясения в Южной Осетии; 7 — Турецкое (оз. Ван); 8 — Симуширское; 9 — Охотоморское; 10 — Тохоку (Япония)

В работе [5] представлена эмпирическая зависимость магнитуды от гидрогеодинамической активности:

$$M = 0,0066A + 3,6642, \quad (2)$$

где A — гидрогеодинамическая активность, которую можно оценить по графикам суммарной кинетической энергии ГГД поля в любой момент времени t :

$$A(t) = \sum_{i=1}^N E_i(t), \quad (3)$$

где i — текущий индекс скважины ($i \in 1...N$); N — количество наблюдательных скважин в регионе; $E_i(t)$ — кинетическая энергия столба воды в скважине, которая определяется следующим выражением: $\Delta E_i(t) = \Delta m(t) V^2(t)/2$, где $\Delta m(t)$ — отклонение массы столба воды в i -й скважине от его среднееголетнего значения; $V(t)$ — скорость перемещения воды в скважине на момент времени t .

Используя выражение (3), можно составить график зависимости гидрогеодинамической активности от времени и применить его для прогнозирования активности региона. Чтобы убрать зависимость гидрогеодинамической активности от количества наблюдательных скважин в регионе, предложено нормировать эту активность по формуле

$$A_n(t) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N E_i(t). \quad (4)$$

По результатам ретроспективного анализа землетрясений в различных регионах был построен калибровочный график (рис. 2), который позволяет по вычисленным значениям суммарной кинетической энергии определить ожидаемую магнитуду землетрясения.

Отметим, что при построении калибровочного графика наблюдаемые в отдельных скважинах ураганные значения кинетической энергии — больше 1500 единиц — не использовались. Это связано с тем, что скважины, установленные вблизи или непосредственно в разломную зону, очень чувствительны к изменению уровня, и поэтому в таких скважинах наблюдаются «ураганные» значения. В Северо-Кавказском регионе в сети ГГД мониторинга таких скважин две — 3020 и 3099.

Результаты калибровки Турецкого, Симуширского, Японского (Тохоку) землетрясений приводятся в статье [5] и в настоящей работе не обсуждаются.

Метод оценки времени проявления землетрясения по циклам гидрогеодинамических импульсов и объединяющим их аттракторам

Этот метод, как показали результаты его апробирования, обеспечивает возможность определения времени проявления прогнозируемого землетрясения. При обработке данных, характеризующих изменения уровня подземных вод (УПВ), вычитается среднееголетний уровень, затем с помощью полосового фильтра из рядов наблюдений выделяется высокочастотная компонента УПВ, не имеющая сезонных изменений. После такой обработки получают ряды, содержащие колебания высокочастотного уровня с периодом от 2 до 10 сут. Методика компьютерного построения аттракторов по циклам гидрогеодинамических импульсов разработана во ВСЕГИНГЕО.

На рис. 3А видно, что отфильтрованные значения УПВ содержат некоторые закономерные проявления, называемые нами гидрогеодинамическими циклами [4]. Эти циклы зарождаются, угасают и снова восстанавливаются. Например, после того как цикл № 1, представленный точками 1.1 и 1.2, угас, зарождается новый цикл — № 2, а после его угасания — цикл № 3 и так далее, т.е. геологическая среда находится в аperiodическом автоколебательном режиме. Точки, объединены по признаку — пара и более точек касаются экстремума и лежат на одной прямой. Эта прямая называется аттрактором; образуют его, например, точки 3.1 и 3.2. Формирование аттракторов последовательно во време-

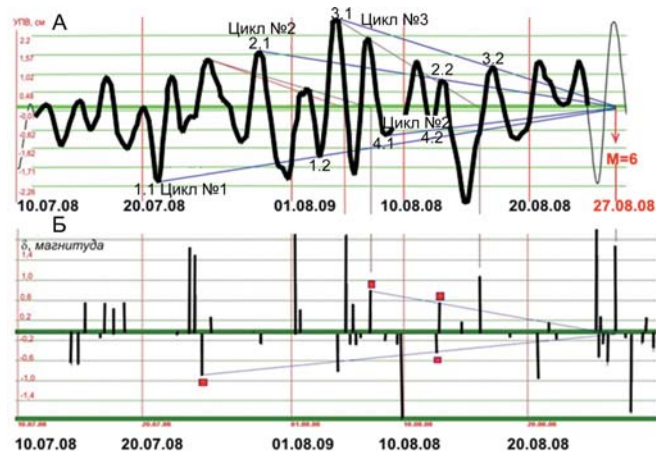


Рис. 3. Цикличность гидрогеодинамических процессов, указывающая на будущее Култукское землетрясение 27.08.2008 г. с магнитудой 6 в Байкальском регионе: графики отфильтрованных значений УПВ для скв. 1602 (А) и магнитуд за вычетом среднегоголетних значений (Б)

ни. Так, аттрактор 1.1–1.2 появился раньше, чем аттрактор 2.1–2.2, поэтому можно говорить о некотором циклическом процессе образования аттракторов. Таких аттракторов много, и некоторые из них пересекаются в одной и той же временной точке шкалы времени. Эта точка и есть прогнозируемое время землетрясения. Момент угасания сейсмической активности на графиках, представленных на рис. 3, идентифицируется по точке пересечения линии 1.1 — 1.2, проведенной через экстремумы высокочастотных колебаний УПВ, с осью абсцисс (шкала времени). Этот момент характеризуется неустойчивым равновесием геологической среды. Такое неустойчивое состояние быстро разрушается, в результате чего происходит землетрясение. Есть и другие циклы, например цикл № 3. Линия, соединяющая точки 3.1 и 3.2, определяет состояние геологической среды, так же как и линии, представленные циклами № 2 и 1. Общее между этими тремя циклами то, что линии, проведенные через соответствующие циклам экстремумы, заканчиваются в одно и то же время — в данном случае 27.08.2008 г., в момент проявления Култукского землетрясения. Подобные циклы, указывающие на одну и ту же дату, были выделены по данным наблюдений в 16 скважинах, расположенных в Байкальском регионе.

Таким образом, для определения времени проявления землетрясения нужно соединить как минимум два (и более) экстремума на графиках, показанных на рис. 3, каждый своей линией (например, экстремум 1.1 с экстремумом 1.2), и продолжить эту линию до пересечения с осью абсцисс (ось времени); точка пересечения — это время проявления землетрясения. Эти линии, соединяющие экстремумы колебаний УПВ, являются, по существу, аттракторами в соответствии с теорией катастроф. Это не случайное совпадение.

Впервые анализ тренда точек бифуркаций (и анализ аттракторов), наблюдаемых при обработке временных рядов землетрясений, был проведен в Красноярском НИИ геологии и минерального сырья [6]. Для этого вначале строится график магнитуд как функция времени, а затем соединяются экстремумы магнитуд линий, пересекающей ось абсцисс (ось времени) в точке будущего землетрясения (рис. 3Б). Таким образом, используя каталог зарегистрированных землетрясе-

ний, по методу В.Г. Сибгатулина удастся определить время и магнитуду предстоящего землетрясения, а по данным мониторинга ГГД поля (метод ВСЕГИНГЕО) — время и ориентировочно место проявления и магнитуду землетрясения. Объединяя возможности этих методов, можно в значительной мере повысить обоснованность оперативных прогнозов землетрясений.

Далее на примере конкретного землетрясения продемонстрировано успешное применение указанных выше методов.

Землетрясение в окрестностях Южной Осетии с магнитудой 6,2 (по другим оценкам — с магнитудой 6,1), произошло 08.09.2009 г., в 27 км к северо-западу от Квайсы (Южная Осетия), в 40 км к северо-востоку от Сачхере (Грузия), в 68 км к северо-западу от Цхинвала. Эпицентр землетрясения находился на глубине 10 км.

Землетрясение ощущалось в Грузии (в Тбилиси — 5 баллов, в Опи — 6 баллов) и Южной Осетии (в Цхинвале — 4–5 баллов), в Армении, Азербайджане, Абхазии и Турции. На территории России землетрясение проявилось толчками в Северной Осетии, Чечне, Ингушетии, Кабардино-Балкарии и Ставропольском крае.

Складчатые структуры Южной Осетии, расположенной на южном склоне Главного Кавказского хребта и в предгорной части Картлинской равнины, имеют сложное строение. Более древние из них опрокинуты на более молодые в южном направлении и осложнены

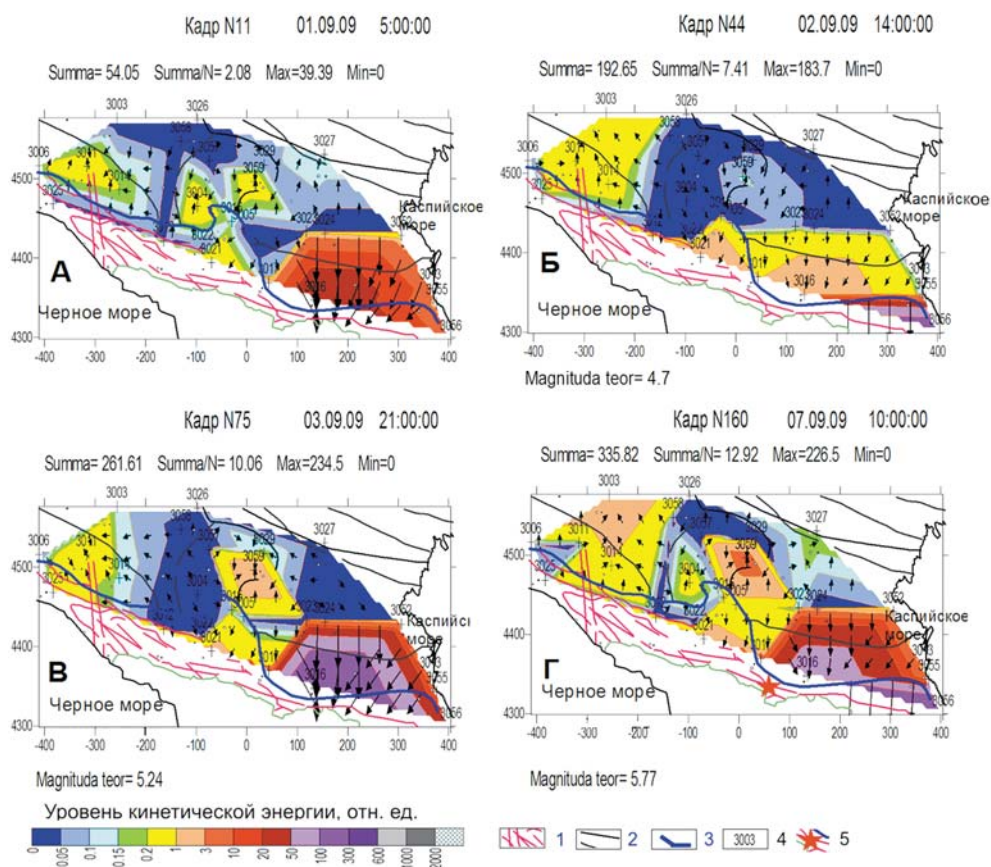


Рис. 4. Гидрогеодинамическая активность перед Южно-Осетинским землетрясением. Ситуация перед землетрясением: А–Г — фоновые значения за 7 сут, за 6 сут, за 4 сут и за 12 ч до землетрясения соответственно. 1 — активные разломы; 2 — границы тектонических структур; 3 — надвиг; 4 — номера пунктов наблюдений ГГД поля; 5 — очаг Южно-Осетинского землетрясения

сбросами и надвигами. Территория, в пределах которой проявилось рассматриваемое землетрясение, по тектоническому районированию относится к Чиатурскому флишевому синклинию Большого Кавказа, к сочленению с Гагро-Джавской тектонической зоной, где 29.04.1991 г. произошло катастрофическое землетрясение с магнитудой 7,0 и интенсивностью в эпицентре 8–9 баллов. Весь южный склон Главного Кавказского хребта относится к области проявления сильных землетрясений.

На рис. 4 приведены карты суммарной кинетической энергии, отражающие состояние геодинамической обстановки в период подготовки землетрясения. На рис. 4А показано первоначальное развитие очень незначительных деформаций в районе Главного Кавказского хребта. Дальнейшая активизация деформационных процессов, как по площади их распространения, так и по интенсивности проявления (рис. 4Б–Г) указывала на то, что в районе Главного Кавказского хребта в ближайшие 3–4 сут может произойти сильное землетрясение. На рис. 4Г показано положение эпицентра Южно-Осетинского землетрясения, состоявшегося 08.09.2009 г., и энергетическая обстановка на северном Кавказе за 12 ч до этого землетрясения. Отметим, что карты созданы с помощью программы, которая не только строит карты, но и вычисляет оценку магнитуды предстоящего землетрясения согласно формуле (2).

Эта оценка — прогнозное значение — отображается на каждой карте. Например, аномальная зона (значения суммарной кинетической энергии >100 ед.), наблюдаемая 2 сентября (рис. 4Б), проявляется суммарной кинетической энергией, равной 192 ед. Согласно калибровочному графику программа ожидает землетрясение с $M = 4,7$; на следующий день оценка предстоящего землетрясения возросла: $M = 5,24$, и 7 сентября за 12 ч до землетрясения прогнозируемая магнитуда стала 5,77, что отличается от реального землетрясения с $M = 6,2$ на 0,4 ед. Это весьма неплохой результат.

Векторы напряжений кинетической энергии указывают на резкое увеличение кинетической энергии в пределах Главного Кавказского хребта. С высокой вероятностью землетрясение произойдет в этом обширном районе, но определить более точное место его проявления по этим картам невозможно. Для этого необходимы наблюдательные пункты мониторинга ГГД поля на территории Южной Осетии и районов, прилегающих к ней.

Анализ суммарной кинетической энергии, представленной на рис. 5, показывает, что данное землетрясение предвлялось, по крайней мере, тремя предвестни-

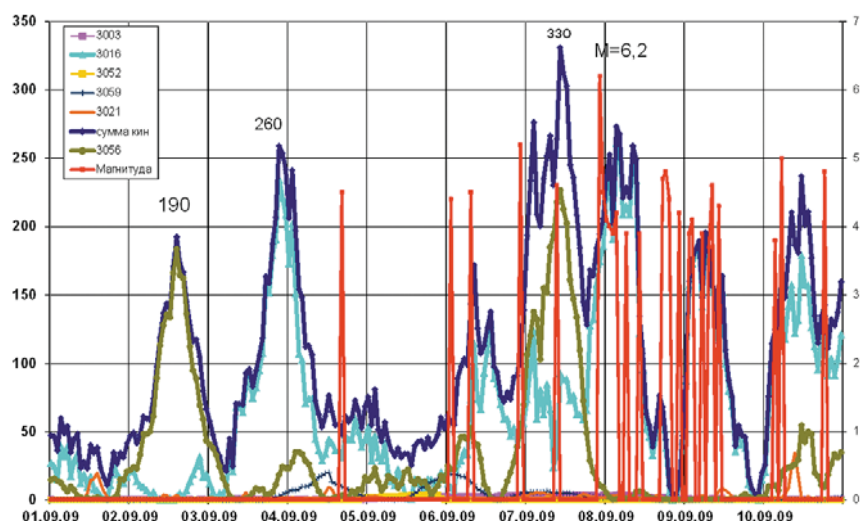


Рис. 5. Графики кинетической энергии, наблюдаемой в Северо-Кавказском регионе (суммарной и на отдельных скважинах — 3016, 3003, 3052, 3059, 3021, 3056), и магнитуда проявления форшоков и афтершоков Южно-Осетинского землетрясения

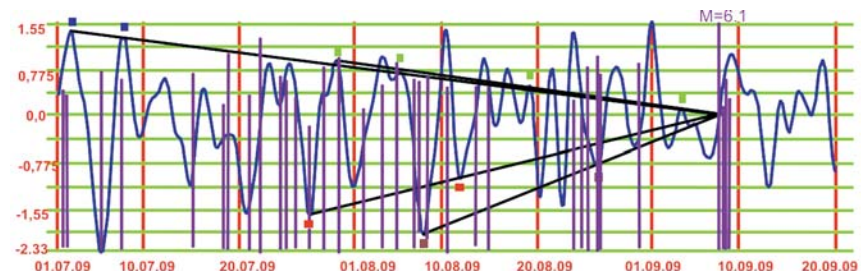


Рис. 6. Прогноз Южно-Осетинского землетрясения путем построения аттракторов по высокочастотным циклам гидрогеодинамических импульсов для скв. 3055. Черные прямые линии — аттракторы, указывающие на дату землетрясения; вертикальные линии магнитуда зарегистрированных землетрясений на соответствующую дату; цветными прямоугольниками показаны точки касания аттракторами экстремумов ГГД поля

ками. Эти предвестники отображены на графике в виде экстремумов 2, 4 и 7 сентября 2009 г. с энергиями 190, 260 и 330 эрг соответственно. Кинетическая энергия предвестников нарастала: перед землетрясением за 4 сут появился экстремум с энергией 260 эрг, а за сутки перед землетрясением — третий экстремум со значительно большей величиной энергии (330 эрг). Основной вклад в фиксацию суммарной кинетической энергии вносят скв. 3016 и 3056, расположенные в наименьшей удаленности от эпицентра землетрясения.

Из рис. 4 и 5 видно, что ареал высоких энергий (190–330 эрг) является нарастающими по своей интенсивности предвестниками землетрясения и значение 330 — согласно рис. 2 — соответствует магнитуде 6,2.

Пример построения аттракторов, позволяющих выявить дату землетрясения в Южной Осетии, показан на рис. 6. Прямые линии — аттракторы — продолжают до пересечения с нулевым уровнем кинетической энергии. Дата пересечения есть прогнозное значение даты землетрясения. На скв. 3055 таких прямолинейных отрезков оказалось четыре, и все они пересеклись с нулевым уровнем в одной и той же точке, указывающей на дату 08.09.2009 г. Аналогичные результаты по оценке времени

наступления Южно-Осетинского землетрясения получены по другим скважинам Кавказского региона.

Эффективность использования аттракторов для прогноза даты землетрясений проверена и в других регионах (Алтайском, Байкальском, Дальневосточном).

Выводы

Применение вышеприведенных методов оперативного анализа геодинамической обстановки и прогноза сейсмической опасности значительно повышает эффективность использования информации, получаемой при ведении мониторинга ГГД поля. В результате этого оценивается магнитуда и более точно — время предстоящего землетрясения, определяется также наиболее вероятное место его проявления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гольдин С.В. Макро- и мезоструктура очаговой области землетрясения // Физическая мезомеханика. — 2005. — Т. 8.1. — С. 5–14.
2. Касахира К. Механика землетрясений. — М.: Мир, 1985.
3. Куликов Г.В., Рыжов А.А., Гарифулин В.А., Лыгин А.М. Оценка геодинамической обстановки и сейсмической опасности по энергетическим параметрам и векторам напряжений гидрогеодеформационного поля // Разведка и охрана недр. — 2010. — № 7. — С. 19–24.
4. Куликов Г.В., Рыжов А.А. Прогноз землетрясений на основе гидрогеодеформационного мониторинга // Геодинамика и тектонофизика. — 2011. — Т. 2. — Вып. 2. — С. 194–207.
5. Куликов Г.В., Рыжов А.А., Лыгин А.М. Оценка геодинамической обстановки по энергетическим параметрам гидрогеодеформационного поля // Разведка и охрана недр. — 2013. — № 3. — С. 51–56.
6. Сибгатулин В.Г., Перетокин С.А. Синергетика процессов в сейсмических очагах и краткосрочный прогноз землетрясений / Геодинамика и сейсмичность Средиземноморско-Черноморско-Каспийского региона: Тез. докл. междунар. семинара. — Геленджик: ККО ЕАГО, 2006. — С. 90.

© Куликов Г.В., Рыжов А.А., 2015

Куликов Геннадий Васильевич // genndvas@poch.ru
Рыжов Альберт Алексеевич // albert-ryjov@rambler.ru

УДК 556.3 (553.004.4)

Семендяева Л.В. (ФГУП «ВСЕГИНГЕО»)

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

*Рассмотрены современные компьютерные технологии и программные системы (комплексы) для численного моделирования гидрогеологических процессов. Дана информация о лучших отечественных профессионально-ориентированных компьютерных программах, позволяющих с большой эффективностью решать самые сложные проблемы математического моделирования месторождений подземных вод. Определен перечень характеристик и проведен сравнительный анализ наиболее распространенных систем моделирования. **Ключевые слова:** компьютерные технологии, программные средства, численная модель.*

Semendyaeva L.V. (VSEGINGEO)

ANALYSIS OF THE CURRENT STATE OF COMPUTER TECHNOLOGIES FOR NUMERICAL MODELING OF HYDROGEOLOGICAL PROCESSES

Modern computer technologies and program systems (complexes) for numerical modeling of hydrogeological processes are discussed. The information is given about the best domes-

*tic professionally oriented computer programs, enabling with a high effectiveness to solve the most complex problems of mathematical modeling of groundwater fields. There is defined a list of characteristics and there is carried out the comparative analysis of the mostly distributed modeling systems. **Key words:** computer technologies, software, numerical model.*

В последние годы компьютерное гидрогеологическое моделирование подземных водных объектов как метод изучения и прогнозирования процессов геофильтрации и геомиграции прочно вошло в практику решения разнообразных задач гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии. В особенности для территорий с интенсивным использованием водных ресурсов, напряженным водным балансом и сложными гидрогеологическими условиями, когда водоносные горизонты характеризуются большой неоднородностью по фильтрационным свойствам, сложными границами распространения, метод математического моделирования является незаменимым.

Применение метода математического моделирования требует высокого уровня изученности гидрогеологических условий месторождения и информации о водоносных горизонтах в пределах области распространения гидравлического воздействия на них водоотбора подземных вод. Поэтому наиболее эффективное применение математического моделирования целесообразно проводить на эксплуатируемых месторождениях, для которых накоплены значительные материалы о режиме водоотбора, об уровне и гидрогеохимическом режиме подземных вод. Обширная информация по опыту эксплуатации месторождения позволяет в результате решения обратных задач более достоверно установить гидрогеологические параметры водоносных горизонтов, граничные условия, количественно оценить источники формирования эксплуатационных запасов подземных вод.

Реальные возможности математического моделирования гидрогеологических процессов в значительной мере определяются степенью развития научно-методического, алгоритмического и программного обеспечения математических моделей гидрогеологических объектов. Исследования и разработки для создания системы специального математического обеспечения связаны в свою очередь с решением целого ряда методических, алгоритмических и программно-технических вопросов.

Последние десятилетия ознаменованы началом массовой компьютеризации фундаментальных и прикладных наук, связанной главным образом с развитием принципиально новых методов хранения и обработки информации, а также способов доступа к ней. Уже сейчас достижения в этой области применительно к гидрогеологии весьма положительные: локальные, региональные и глобальные базы и банки данных, поисковые и геоинформационные системы, почти не ограниченная сложностью математическая, в том числе статистическая обработка информации, 3D и ее динамическая визуализация, моделирующие программные средства. В то же время, состояние нарабо-