

УДК 550.3

ДИНАМИКА СЕЙСМИЧЕСКОГО РЕЖИМА И ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ В ЮЖНО-ЯКУТСКОМ РЕГИОНЕ

Терещенко М.В., Гриб Н.Н.

Технический институт (филиал) Северо-Восточного федерального университета, Нерюнгри, e-mail: terexa@pochta.ru

Проведен анализ данных наблюдений сейсмической активности за 2008–2012 годы. Оценены сведения о произошедшем количестве сейсмических событий, выделившейся сейсмической энергии, распределении параметров по периодам. Построен график зависимости $\lg N(K)$ для землетрясений $K = 11–15$ для Южно-Якутского региона. Полученные в результате наблюдений данные и проведенный анализ дают возможность выявить потенциальные геофизические предвестники землетрясений, определить их взаимосвязь с сейсмической активностью Южной Якутии. Выделены надежные предвестники землетрясений для экспресс-оценки сейсмической опасности. Сделан вывод, что аномальное распределение сейсмических событий во времени ведет к возможности построения модели сейсмических событий при выполнении необходимого условия по проведению значительного числа экспериментов с целью получения более надежных оценок случайных переменных модели. Проведение комплексной интерпретации наблюдаемых геофизических предвестников, сопоставление графиков геофизических параметров с учетом предшествующих землетрясениям форшоков, возможно прогнозирование ориентировочного места возникновения и силы землетрясений.

Ключевые слова: геофизические предвестники, землетрясения, сейсмические события, вероятность

THE DYNAMICS OF THE SEISMIC REGIME AND GEOPHYSICAL FIELDS IN THE SOUTH-YAKUTIA REGION

Tereschenko M.V., Grib N.N.

Technical Institute (branch) of North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov, e-mail: terexa@pochta.ru

We have done the analysis of the seismic activity data for the period 2008–2012. In the work included an assessment of the data about developments in the number of seismic events, released seismic energy, distribution parameters by periods. The article shows the graph of $\lg N(K)$ for earthquakes $K = 11–15$ of South-Yakutia region. The resulting observations and data analysis allow to identify potential geophysical forerunner of earthquakes and to define their relationship with seismic activity of the South Yakutia. In other words, reliable forerunner of earthquakes for the rapid assessment of seismic hazard are dedicated. The authors concluded that the anomalous distribution of seismic events in time leads to the possibility of seismic events model constructing when performing the necessary conditions for holding a significant number of experiments to obtain more reliable estimates of random variables of the model. As a result, the comprehensive interpretation of the observed geophysical forerunner, comparison geophysical parameters charts, taking into account the foreshocks allow the approximate place and strength of earthquakes forecasting.

Keywords: geophysical forerunner of earthquakes, earthquakes, seismic events, probability

В связи с очередным этапом развития Южной Якутии и с учетом построенной промышленной и транспортной инфраструктуры в 20 веке: Байкало-Амурской магистрали, южного участка Амуро-Якутской магистрали (Малого БАМа), промышленных и гражданских объектов города Нерюнгри вопрос оценки сейсмической активности данного региона остается актуальным уже несколько десятилетий.

Строительство нефтепровода «Восточная Сибирь – Тихий океан» и развитие Эльгинского угольного месторождения, северного участка АЯМа и ж.-д. ветки Улак-Эльга выводят задачу обеспечения их последующего сейсмобезопасного функционирования на новый уровень, в том числе с учетом возможных экологических последствий и развития экзогенных процессов.

Данные наблюдений сейсмической активности и фиксирование потенциально

опасных событий доказывают необходимость изучения сейсмической активности Южной Якутии, параметров и степени опасности регистрируемых землетрясений для последующей оценки, районирования и прогнозирования сейсмической среды.

Задача прогноза времени и места возникновения сильных землетрясений занимает центральное место при сейсмологических исследованиях. При этом очевидно, что данная задача может быть разрешена только при постановке детальных комплексных наблюдений за сейсмическими и геофизическими полями путем установления закономерностей их изменений во времени и пространстве в местах с высокой сейсмической активностью. При решении задачи прогнозирования степени сейсмической опасности катастрофических землетрясений интерес представляют не только результаты инструментальных на-

блюдений (таблица), но и оценка потенциально возможной энергии землетрясения для определенной области, его магнитуды,

интенсивности и радиуса влияния сейсмического события на геофизические параметры [2, с. 209].

Зарегистрированные сейсмические события энергетического класса $K \geq 8$, 1 кварт. 2012

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Дата	22.01	23.01	27.01	13.02	15.02	17.02	20.02	22.02	25.02	08.03	09.03	19.03	23.03	25.03	27.03	29.03
K	11,5	10,3	8,5	9,9	9,5	8,8	8,3	9,2	9,2	9,5	9,2	10,8	10,1	9,2	9,4	9,7

Сформированная статистика наблюдений позволяет представить и оценить имеющиеся сведения о произошедшем количестве сейсмических событий, вы-

делившейся сейсмической энергии, распределении параметров по периодам (рис. 1). Установить наличие корреляционной связи.

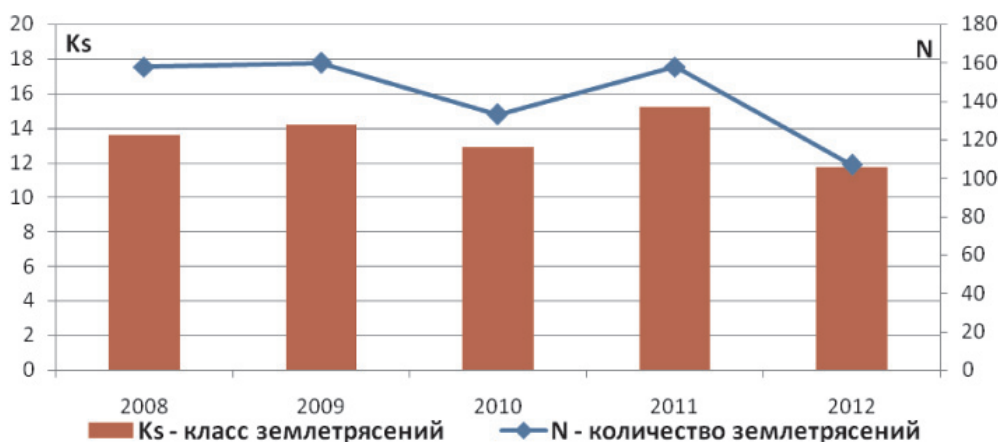


Рис. 1. Суммарная годовая выделяющаяся энергия и количество землетрясений в год

За рассматриваемый период 2008–2012 гг. получены следующие величины:

- среднегодовая суммарная выделявшаяся энергия составляет $K_{ср} = 11,0$;
- максимальная суммарная выделявшаяся энергия $K_{max} = 15,2$ в 2011 г.; при этом в этом же году зафиксированы землетрясения с $Ks_{max} : 15,0$ и $14,6$.
- минимальная суммарная выделявшаяся энергия $K_{min} = 11,7$ в 2012 г., при этом максимальная выделявшаяся энергия отдельного события в 2012 г. составила 11,5.

Коэффициент корреляции Пирсона для годовых значений N и K составил $r = 0,89$.

Необходимо отметить, что энергетические оценки K и M (магнитуда) не являются полностью независимыми и корреляционно связаны между собой. Наиболее часто используется следующая зависимость:

$$K = 4 + 1,8M.$$

При этом коэффициент корреляции составляет » 90%.

В г. Нерюнгри функционирует научно-исследовательская лаборатория мониторинга и прогноза сейсмических событий, оснащенная современной геофизической

аппаратурой. Налажены регулярные наблюдения за вариациями геофизических полей в районе города (гравиметрические и магнитометрические наблюдения, электромагнитные, барометрические, температурные). По результатам многолетних наблюдений различных геофизических полей перед сильными землетрясениями наблюдается их аномальное поведение.

Оценка полученных в результате наблюдений неперiodических изменений геофизических показателей, выявление возможных зависимостей – это нестандартная задача, так как неперiodические изменения указанных данных в период изменения сейсмической активности зачастую вызваны не только локальными, но и региональными причинами. Необходимо отметить, что для проведения корректного анализа выявленных аномалий следует учитывать нормальный сейсмический фон, его динамику во времени. При этом возможны ситуации получения различных комбинаций предвестников сейсмических событий из одного набора данных, т.е. каждый этап процесса прогнозирования базируется на определенном наборе предвестников,

предшествующих возникновению землетрясения [1, с. 8].

Одним из основных параметров сейсмического режима является изменение графика повторяемости (угла наклона) во времени: g или b -value в зависимости от параметра, используемого в качестве характеристики величины землетрясений: K или M соответственно (рис. 3). Многочисленные измерения параметра g показали, что его значения для ука-

занного диапазона K находятся в пределах 0,44–0,56.

Соответствующая зависимость аппроксимируется прямой линией, представляемой в виде

$$\lg N = \lg A - gK = a - bM, \text{ при этом } b = 1,8g \text{ [3, с. 95].}$$

График зависимости $\lg N(K)$ для землетрясений $K = 11–15$ для Южно-Якутского региона приведен на рис. 2.

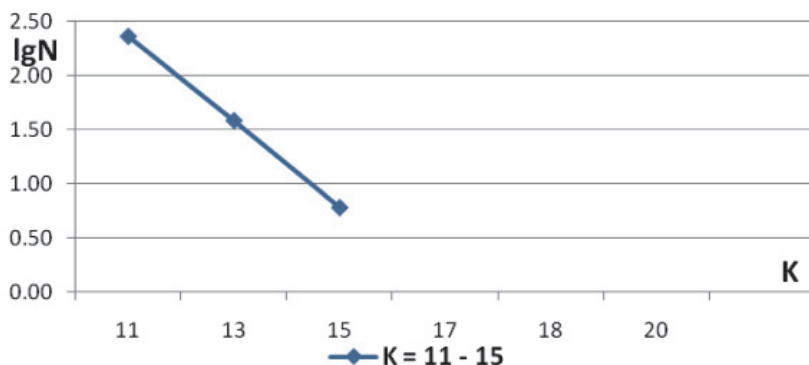


Рис. 2. Наклон графика повторяемости g

График повторяемости для определенного региона, построенный на основании данных долгосрочных наблюдений, дает возможность говорить с определенной долей вероятности о регистрации в будущем землетрясений определенного класса.

Учитывая принятое представление [5, с. 396] того факта, что сейсмическое событие происходит в период после сейсмического затишья или после форшоковой активизации, с целью идентификации аномалий геофизических показателей возможно использование следующего подхода. Необходимо экспериментально выде-

лить так называемый уровень тревоги $x_{тр}$, и в этом случае аномалия сейсмического затишья будет определяться как $\xi_n \leq x_{тр}$, а сейсмической активизации $\xi_n \geq x_{тр}$. Аномалия будет определена как ложная или реализованная в зависимости от того, произошло ли землетрясение в период выборки данных $T_{ож} + |\sigma|$.

Полученные в результате наблюдений данные и проведенный анализ дают возможность выявить потенциальные геофизические предвестники землетрясений, определить их взаимосвязь с сейсмической активностью Южной Якутии.

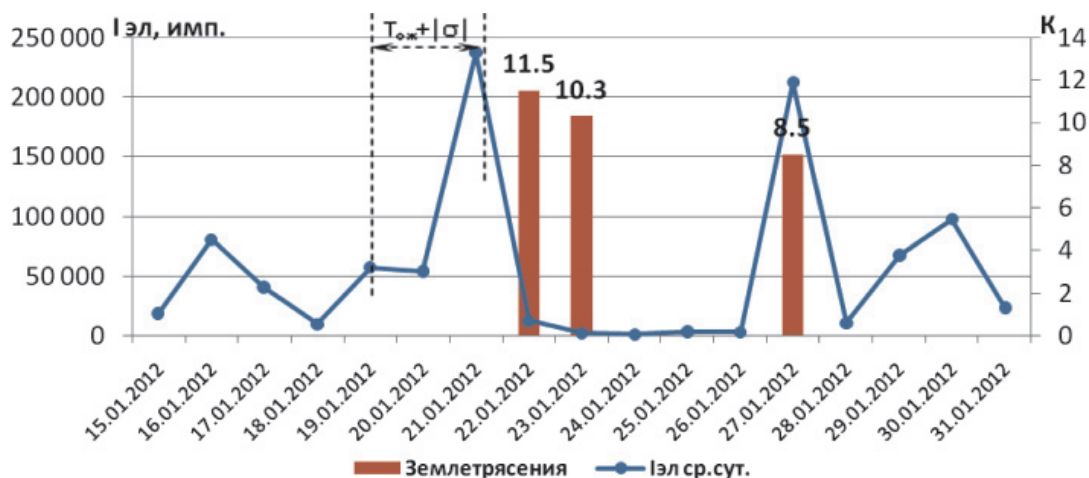


Рис. 3. Вариации импульсного естественного электромагнитного поля земли, январь 2012

На представленных рисунках изображены вариации естественного импульсного электромагнитного поля Земли (электрическая составляющая $I_{эл}$), связанные с сейсмической активностью; при этом на заключительных стадиях подготовки землетрясения наблюдаются аномальные изменения указанного поля (рис. 3). На основании анализа данных можно сделать заключение, что землетрясение происходит в период регистрации аномалий или не позднее 2–4 суток после их завершения.

Рассмотрим вариации полного вектора магнитного поля (T , нТл) на рис. 4. Данные

наблюдений в 1 квартале 2012 года показывают, что перед сейсмическими событиями фиксируются резкие изменения показателя (T). В январе за двое суток ($T_{ож}$) перед землетрясением 11,5 класса магнитное поле увеличилось на 171 нТл, а затем после землетрясения уменьшилось на 155 нТл. При этом в марте период $T_{ож}$ варьируется от 2 до 4 суток ($T_{ож} + s$). Отдельно следует отметить, что динамика показаний гравиметра идентична изменениям магнитного поля земли. На рис. 4 представлены аномальные вариации Δg силы тяжести, мГал перед землетрясениями.

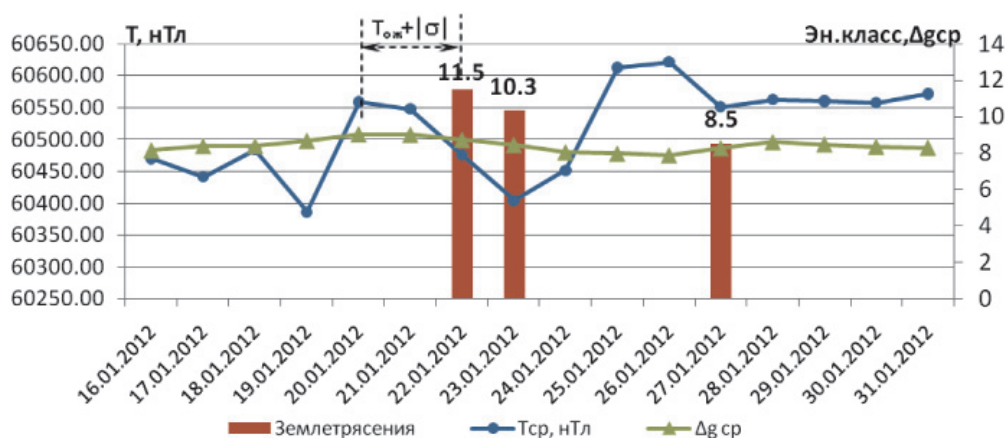


Рис. 4. Аномальные изменения полного вектора магнитного поля, силы тяжести

Отдельно выделим вариации полного вектора магнитного поля в феврале, в котором помимо резкого изменения T отмечается общий рост уровня значений показателя от нормальных значений (со среднего 60 470 до 61 200 нТл) на фоне последовательности сейсмических событий от энергетического класса 8,3 до 9,9.

Учитывая рассмотренные выше результаты мониторинга сейсмической активности, можно выделить следующие (не исчерпывающий список) надежные предвестники землетрясений для экспресс-оценки сейсмической опасности:

- аномальные изменения импульсного электромагнитного поля Земли;
- резкое изменение полного вектора магнитного поля Земли и увеличение показаний T , нТл от средних значений;
- вариации силы тяжести Δg .

Вместе с тем при формировании заключения о предстоящем сейсмическом событии на основании определенных предвестников следует учитывать вероятностный характер данного прогноза, т.к. аномальные изменения предвестников проявляются не перед каждым землетрясением, и не каж-

дые аномальные изменения какого-то из геофизических параметров могут быть связаны с изменением сейсмической активности.

Помимо этого, имеющаяся ограниченная статистика сильных землетрясений недостаточна для корректной оценки вероятности сильных землетрясений. Вследствие этого применяется статистика более слабых сейсмических событий и экстраполяция по графику повторяемости [4, с. 13].

Рассмотрим распределение количества сейсмических событий и выделившейся энергии во времени с распределением по месяцам года. При этом значения N и K_s определяются как средние ежемесячные значения за 2008–2012 гг. (рис. 5).

При этом проведенный анализ сезонного колебания изучаемых данных с целью выявления закономерно повторяющихся различий в уровне рядов динамики в зависимости от времени года показывает, что в рассматриваемом периоде при усреднении исследуемых величин ежемесячно получаем:

- среднемесячная суммарная выделившаяся энергия составляет $K_{срм} = 10,6$;
- максимальная суммарная выделившаяся энергия $K_{max} = 12,2$ в марте; при

этом отметим, что максимум выделившейся энергии приходится на январь – апрель, октябрь;

– минимальная суммарная выделившаяся энергия $K_{\min} = 8,9$ в июне; при этом сни-

жение объема выделившейся энергии отмечается с мая по сентябрь.

Коэффициент корреляции Пирсона для среднемесячных значений N и K составил $r = 0,83$.

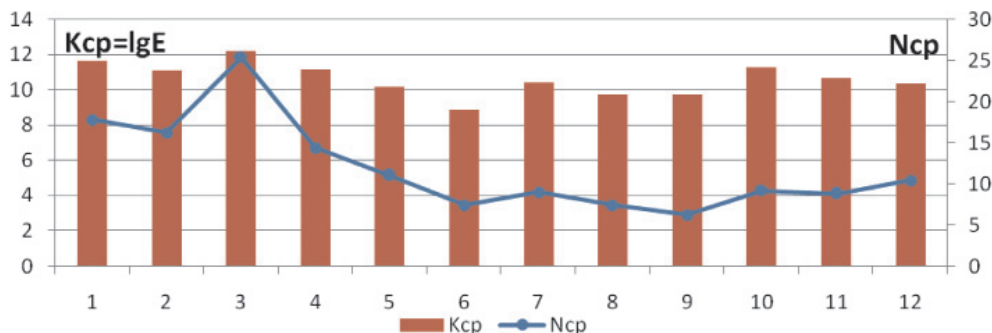


Рис. 5. Распределение по месяцам года K_{cp} и N_{cp} за 2008–2012 гг.

Таким образом, аномальное распределение сейсмических событий во времени ведет к возможности построения модели сейсмических событий при выполнении необходимого условия по проведению значительного числа экспериментов с целью получения более надежных оценок случайных переменных модели.

Вместе с тем оценка аномального изменения только одного из выявленных предвестников землетрясений для формирования выводов о сейсмическом состоянии оцениваемой зоны может привести к возникновению ложных тревог. Поэтому интерес представляет оценка динамики нескольких параметров при отдельных сейсмических событиях, их взаимозависимость и аномалии.

Проводя комплексную интерпретацию наблюдаемых геофизических предвестников, сопоставляя графики геофизических параметров, и с учетом предшествующих землетрясениям форшоков, прогнозируется ориентировочное место возникновения и сила землетрясений.

Список литературы

1. Завьялов А.Д. Среднесрочный прогноз землетрясений: основы, методика, реализация. – М.: Наука, 2006.
2. Имаев В.С., Трофименко С.В., Гриб Н.Н. и др. Разломная тектоника и геодинамика в моделях очаговых зон сильных землетрясений Южной Якутии. – Нерюнгри: Изд-во Технического института (ф) ЯГУ, 2007.
3. Пузырев Н.Н. Методы и объекты сейсмических исследований. Введение в общую сейсмологию / РАН, Сиб. отд-ние, Объед. ин-т геологии, геофизики и минералогии. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, НИЦ ОИИГМ, 1997.

4. Шебалин П.Н. Методология прогноза сильных землетрясений с периодом ожидания менее год // Алгоритмы прогноза землетрясений. – М.: ГЕОС, 2006.

5. Mogi Kiyoo. Some Features of recent Seismic Activity in and near Japan / Mogi Kiyoo // Bulletin of the Earthquake Research Institute. – 1969. – Vol. 47. – P. 395–417.

References

1. Zavyalov A.D. Srednesrochny prognoz zemletryaseniy: osnovy, metodika, realizatsiya (Mid-term earthquake prediction: fundamentals, methods, implementation). Moscow, Nauka publ., 2006.
2. Имаев В.С., Трофименко С.В., Гриб Н.Н. и др. Razlomnaja tektonika i geodinamika v modeljah ochagovyh zon sil'nyh zemletrjasenij Juzhnoj Jakutii (The snap tectonics and geodynamics in models focal zones of strong earthquakes in southern Yakutia). Nerungri, Technical Institute (branch) of YGU publ., 2007.
3. Puzyrev N.N. Metody i obekty sejsmicheskikh issledovanij. Vvedenie v obshhuyu sejsmologiju / RAN, Sib.otd-nie, Obed. in-t geologii, geofiziki i mineralogii. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, NIC OIIGM, 1997.
4. Shebalin P.N. Metodologija prognoza sil'nyh zemletrjasenij s periodom ozhidaniya menee goda. //Algoritmy prognoza zemletrjasenij (The methodology of the forecast of strong earthquakes with a waiting period less than one year // The earthquake prediction algorithms). M.: GEOS, 2006.
5. Mogi Kiyoo. Some Features of recent Seismic Activity in and near Japan / Mogi Kiyoo // Bulletin of the Earthquake Research Institute. 1969. Vol. 47, pp. 395–417.

Рецензенты:

Имаев В.С., д.г.-м.н., профессор, главный научный сотрудник, Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск;

Терещенко С.В., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Физика горных процессов и геофизика», Кольский филиал ПетрГУ, г. Апатиты.

Работа поступила в редакцию 10.07.2014.