

УДК 550.34 528.91

МЕТОДИКА ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ В ЗАДАННОМ РАЙОНЕ

**С. Э. Черный, А. Н. Ефременко,
И. Д. Канарский, А. С. Подчасский**

Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, 197198, г. Санкт-Петербург,
ул. Ждановская, 13

E-mail: serg_cherhy@mail.ru

Предлагается подход к решению задачи оперативного контроля сейсмической обстановки на основе автоматизации процесса слежения за сейсмотектонической деформацией в реальном масштабе времени.

Ключевые слова: землетрясения, сейсмотектоническая деформация земной поверхности, временный ход деформации, параметры деформации, сейсмическая активность

© Черный С. Э. и др., 2017

MSC 86A15

TECHNIQUE OF SEISMIC SITUATION CONTROL A GIVEN AREA

**S. E. Cherny, A. N. Efremenko, I. D. Kanarsky,
A. S. Podchassky**

Mozhaisky Military Space Academy 197198, St. Petersburg, Zhdanovskaya st, 13

E-mail: serg_cherhy@mail.ru

We propose an approach to solving the problem of operational control of seismic situation on the basis of automation of process of monitoring of seismotectonic deformation in real time.

Key words: earthquakes, seismotectonic deformation of the earth's surface, a temporary course of deformation, the deformation parameters, seismic activity

© Cherny S., et al, 2017

В связи с ростом населения планеты, разрастанием городов и ростом числа землетрясений проблема их прогнозирования становится чрезвычайно актуальной. Следовательно, задача по оцениванию сейсмической опасности в конкретном районе в режиме текущего времени представляет несомненный практический интерес.

Оценивание сейсмической опасности, в данном случае, сводится к выявлению наличия в заданном районе на текущий момент сейсмостектонических условий, благоприятных (БУ) для возможной разрядки упругих напряжений в земной коре в виде относительно сильного землетрясения. Заблаговременность такой оценки может колебаться в широких пределах в зависимости от геологического состава земной коры, состояния и скорости накопления в ней упругих напряжений, скорости сейсмостектонической деформации (СТД) в текущий момент и ряда других факторов (X).

В условиях отсутствия установившейся теоретической базы сейсмостектонических процессов, отсутствия точных и надежных исходных данных, решение подобных задач может осуществляться на основе накопленных знаний, опыта, интуиции экспертов с использованием специализированной обработки исходной (первичной или расчетной, прямой или косвенной) информации с учетом правил нечеткой логики, байесовской логики или любых подобных схем.

В частности, формирование «портрета» (системы показателей – X_{1-m}) БУ, их граничных значений $[X_{(1-m)1,2}]$, разделяющих условия сейсмической обстановки по каждому из параметров (X) на «опасные» (БУ), «допустимые» и «безопасные», осуществляется экспертным путем на основе теоретических представлений, имеющихся экспериментальных данных и сведений о динамике сейсмостектонических процессов.

Выявление БУ происходит на основе анализа временного хода «высвобожденной» сейсмостектонической деформации $\varepsilon(t)$ земной коры – характеристики физически достаточно обоснованной и в среднем наиболее полно отражающей развитие сейсмических процессов [1,2].

В соответствии с предлагаемой методикой анализа сейсмической обстановки, заданный район разбивается на ряд равновеликих областей (клеток) площадью 10^3 км² и для каждой клетки $j = 1 - k$ рассчитывается ряд показателей сейсмического режима ($x_1 - x_m$). В частности, рассчитывается:

1) значения сейсмостектонической деформации земной коры за различные промежутки времени по следующему соотношению:

$$\varepsilon_{1\div 6} = \frac{1}{2 \cdot \mu \cdot V} \cdot \sum_{i=1}^{n_{1\div 5}} M_{oi},$$

где $i=1\div$ – номер землетрясения в клетке j в различные промежутки времени (например, последняя пятилетка – 1, предыдущая – 2, последнее полугодие – 3, последний год – 4, пятилетний период до последнего полугодия – 5, последний месяц – 6 и т.д.);

μ – модуль сдвига горных пород, принятый здесь равным $2.65 \cdot 10^{10}$ Н/м²;

M_{oi} – сейсмический момент i -го землетрясения [Н·м];

V – объем деформированной области за счет землетрясения в выделенном районе и равный:

$$V = 4 \cdot \sigma_x \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z, [\text{м}^3];$$

где $\sigma_{x,y,z}$ – среднеквадратичные отклонения координат гипоцентров по осям x, y, z [м].

2) рассчитываются средние фоновые скорости деформации за последнее (1), предыдущее (2) пятилетия ($\Delta t=5$ лет) $\bar{V}_{1,2} = \frac{\varepsilon_{1,2}}{\Delta t}$ и скорость деформации за последнее полугодие $\bar{V}_3 = \frac{\varepsilon_3}{\Delta t}$, [$\varepsilon \cdot 10^{-8}/\text{год}$].

3) $C_1 = \lg \frac{\bar{V}_1}{\bar{V}_2}$ и $C_3 = \lg \frac{\bar{V}_3}{\bar{V}_1}$ – отношение скоростей в последней пятилетке к скорости во второй (C_1) и скорости деформации за последнее полугодие к скорости в последней пятилетке (C_3).

4) A_{1-4} – сейсмическая активность района, [$N^{10}/\text{год} \cdot 10^3 \text{км}^2$], за последнее (1), предыдущее (2) пятилетия, последнее полугодие (3), последний месяц (4):

$$A_{1,2,3} = \frac{N_{1,2,3}^{10}}{t \cdot s},$$

5) $a_1 = \frac{A_1}{A_2}$ и $a_3 = \frac{A_3}{A_1}$ – отношение сейсмической активности последней пятилетки к предыдущей (a_1) и активности в последнее полугодие к активности последней пятилетки (a_3).

6) выделяются сейсмоактивные ячейки (а) и сейсмоспокойные ячейки (с).

7) в этих ячейках рассчитываются средние скорости сеймотектонической деформации за последний год (\bar{v}_4, \bar{v}_4) и за месяц (\bar{v}_5, \bar{v}_5).

8) определяются значения отношений скоростей деформации в активных ячейках в последний месяц (\bar{v}_5, \bar{v}_5) к скорости деформации в пятилетний период (\bar{v}_2, \bar{v}_2):

$$C_3 = \lg \frac{\bar{v}_5}{\bar{v}_2}, [-].$$

Аналогичные расчеты выполняются для сейсмоспокойных ячеек:

$$C_3 = \lg \frac{\bar{v}_5}{\bar{v}_2}, [-].$$

9) рассчитывается мера снятых упругих напряжений за последний год в сейсмоактивных и сейсмоспокойных ячейках:

$$\Delta \sigma_4 = \mu \cdot (\bar{v}_{a4} - \bar{v}_{a1}) \cdot 10^{-5}, [\text{бар}];$$

$$\Delta \sigma_{c4} = \mu \cdot (\bar{v}_{c4} - \bar{v}_{c1}) \cdot 10^{-5}, [\text{бар}].$$

10) определяется отношение сейсмической активности за последний месяц в сейсмоактивных областях (A_4) к активности за последнее пятилетие:

$$a_4 = \frac{A_4}{A_1}, [-]$$

Перечень подобных показателей может уточняться, расширяться, в том числе за счет показателей (свидетельств) не связанных собственно с сеймотектонической деформацией, но косвенно характеризующих ее пространственно-временные особенности, этапность, интенсивность проявления и т.д.

Фактические значения выбранных показателей сравниваются с их граничными значениями и распределяются по трем качественным градациям, определяющим геофизические условия как благоприятные (допустимые, неблагоприятные) для возникновения ОППЯ в литосфере.

Граничные значения показателей определяются экспертным путем. Значения показателей приводятся к безразмерному виду путем нормирования. Это позволяет произвести их осреднение по градациям и получить количественную оценку значимости каждой градации (в долях амплитуды каждого показателя или в долях разницы граничных значений). Максимальное значение этой оценки для каждой области (клетки) j свидетельствует о степени благоприятности ГФУ для возникновения ОППЯ и, в результате комплексного анализа, позволяет получить интегральное поле благоприятных условий (БУ) для формирования опасного сейсмического явления в заданном районе.

Данная методика анализа сейсмической обстановки ориентирована на использование, в качестве исходных данных, сведений из глобальных, национальных и региональных каталогов сейсмических явлений глубиной десятки календарных лет с привлечением оперативной информации о таких явлениях в глобальном масштабе.

Очевидно, что решение задачи по оперативному анализу благоприятных условий для формирования сильных землетрясений возможно, в такой постановке, только на основе современных геотехнологий.

Основную сложность здесь представляет большой объем исходной информации и многократное повторение (по количеству анализируемых клеток района - до 500 ед.) решений десятков уравнений для расчета значительного количества параметров, характеризующих состояние литосферы, и разносторонность критериев их оценивания.

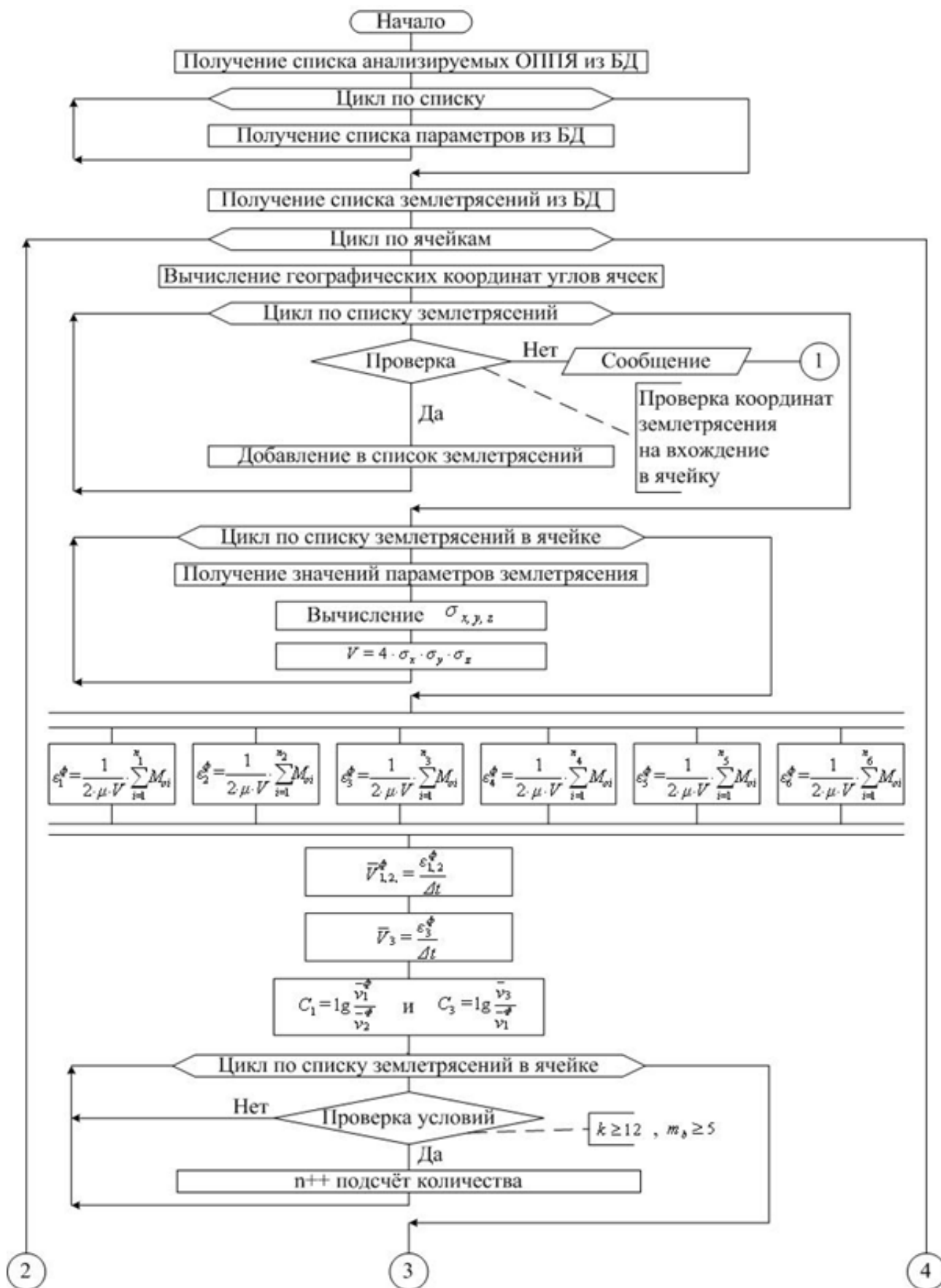
Оптимизация процедуры таких расчетов требует использования следующих основных методов распараллеливания вычислений: по функциям, по пространству или комбинированный. Алгоритм функционирования программной компоненты математического анализа БУ для ОППЯ в литосфере может быть представлен в виде следующих крупных блоков:

- получение информации о значениях настроек;
- получение информации о землетрясениях;
- вычисление параметров используемой для расчета сетки и преобразование географических координат;
- управление потоками;
- вычисление показателей сеймотектонической активности в районе;
- анализ показателей сеймотектонической активности в районе;
- сохранение полученных результатов работы.

Более детально разработанный алгоритм представлен в виде блок - схемы (рисунок 1).

Выбор предложенного алгоритма позволяет в оптимальном виде, с минимальной затратой времени и аппаратных ресурсов реализовать функции идентификации БУ и регистрации ОПЯ и явлений в литосфере в глобальном масштабе в режиме реального времени.

Представление результатов идентификации БУ возможно как в табличном виде, так и в графическом виде – отображение на картографической основе с выбранным районом либо изолиний, оконтуривающих опасные области, либо областей, цвет заливки которых означает: красный БУ – наиболее опасная область (большая вероятность возникновения ОППЯ), желтый – область, где данное ОППЯ маловероятно, зеленый – область, в которой возникновение ОППЯ в ближайшей перспективе не предвидится.



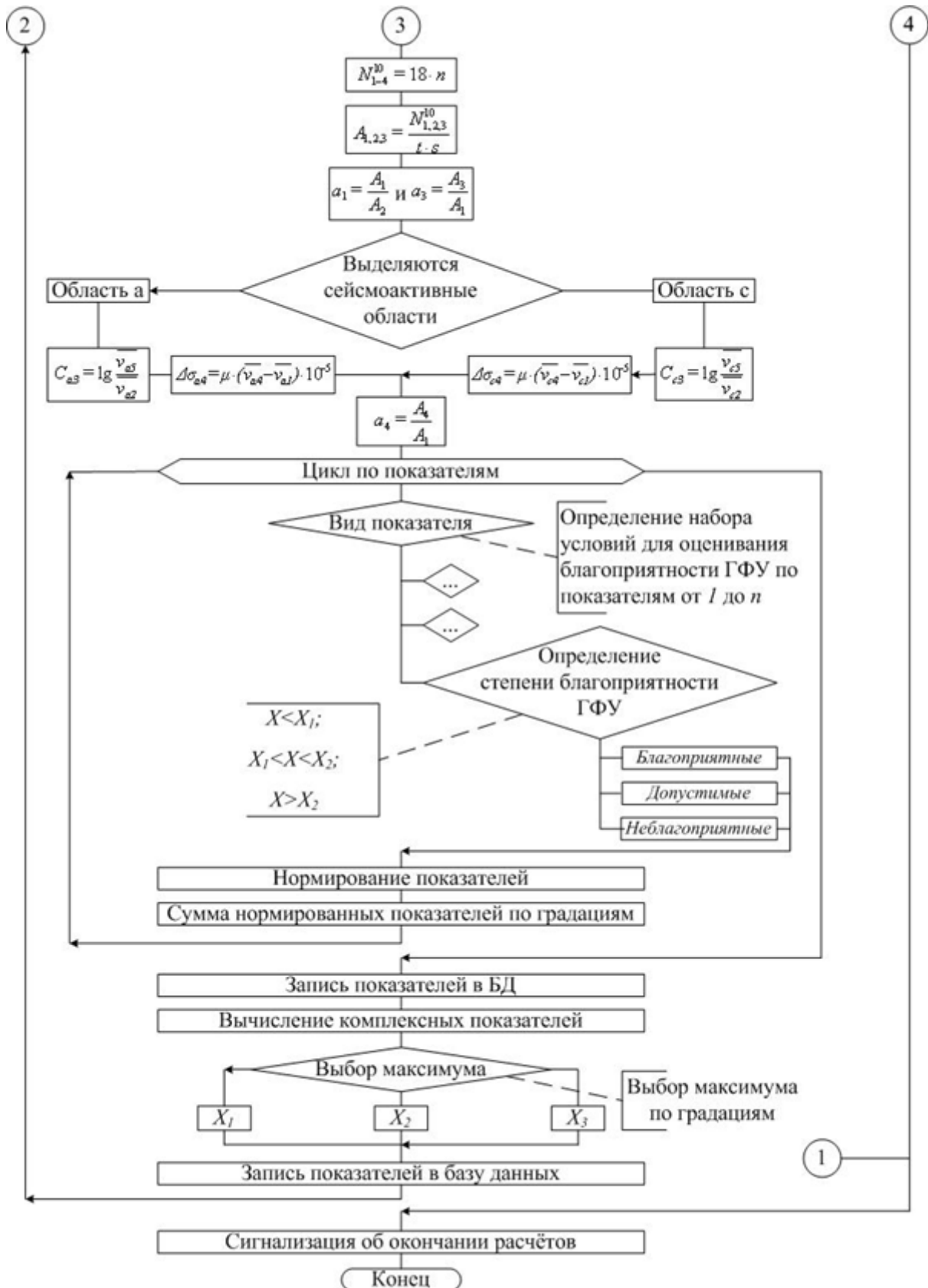


Рис. 1. Блок-схема алгоритма функционирования ПК визуализации результатов идентификации БУ и регистрации ОПЯ

Для более детального анализа геофизической обстановки в исследуемом районе отображение промежуточных результатов обработки информации возможно на любом этапе работы подсистемы.

На рис. 2 приведен пример отображения карты сейсмической активности выбранного района. Условными знаками на рисунке обозначены центры ячеек площадью 1000 км^2 , для которых проводилась общая оценка сейсмической активности. Видно, что почти на половине площади исследуемого района наблюдаются ГФУ, благоприятные для развития сейсмического ОППЯ.

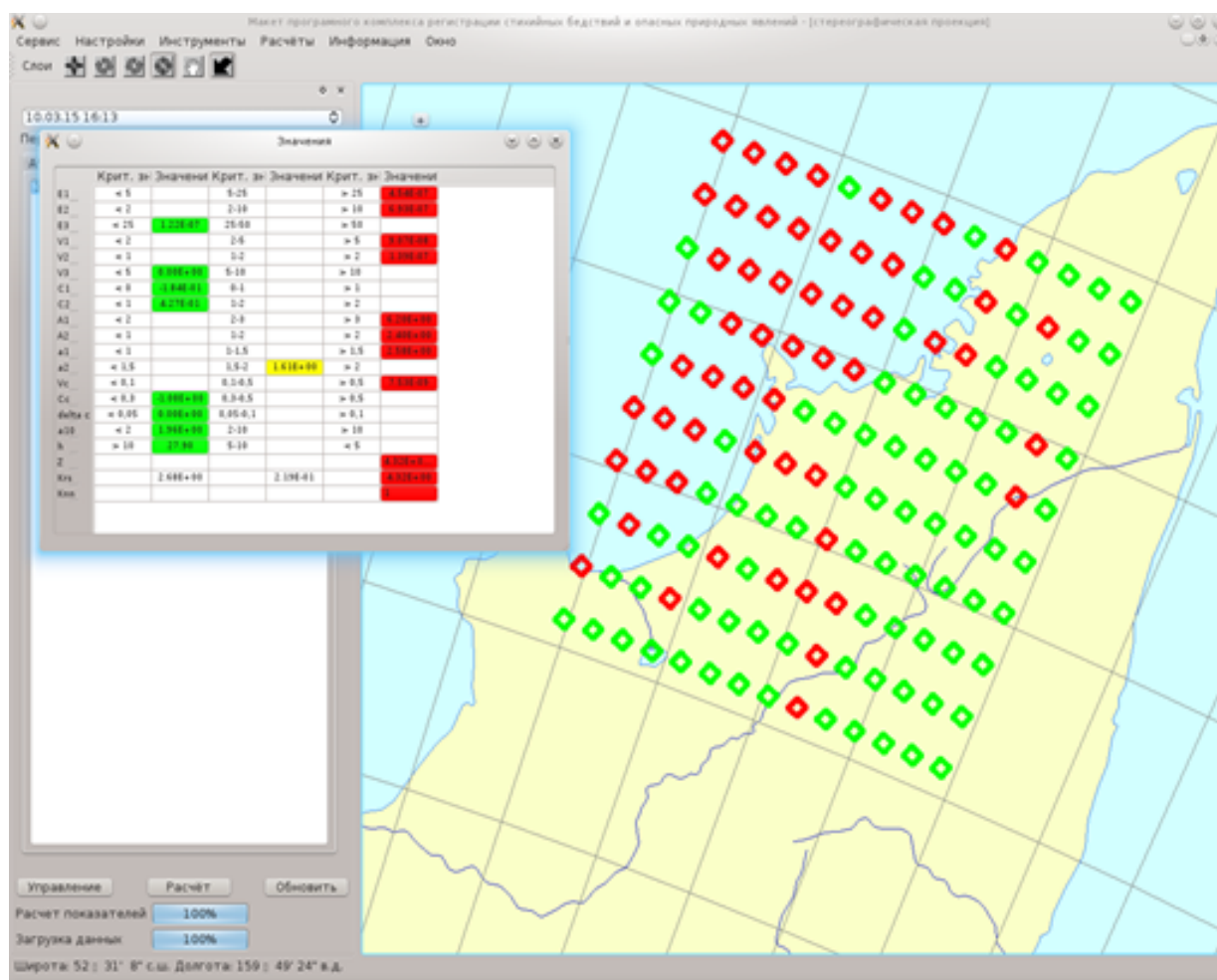


Рис. 2. Карта сейсмической активности района

В заключение отметим, что предложенная методика решения задачи по оперативному оцениванию БУ для формирования опасных сейсмических явлений может быть основой для создания соответствующей автоматизированной экспертной системы, основанной на теоретических, экспериментальных и экспертных оценках причинно-следственных связей сейсмотектонических процессов.

Список литературы

- [1] Костров Б. В., *Механика очага тектонического землетрясения*, Наука, М., 1975.].
- [2] Kostrov B. V., *Mehanika ochaga tektonicheskogo zemletrjassenija*, Nauka, M., 1975.

- [3] Тарасов Н. Т., “Влияние сильных электромагнитных полей на скорость сейсмотектонических деформаций”, *Доклады РАН*, **433**:5 (2010), 689–692. [Tarasov N. T., “Vlijanie sil’nyh jelektromagnitnyh polej na skorost’ sejsmotektonicheskikh deformacij”, *Doklady RAN*, **433**:5 (2010), 689–692].
- [4] Нейлор К., *Как построить свою экспертную систему*, Энергоатомиздат, М., 1991. [Nejlor K., *Kak postroit’ svoju jekspertnuju sistemu*, Jenergoatomizdat, M., 1991].
- [5] Шаров Н. В., *Землетрясения и микросейсмичность в задачах современной геодинамики Восточно-европейской платформы*, Геофизическая служба РАН, Петрозаводск, 2007. [Sharov N. V., *Zemletrjasenija i mikrosejsmichnost’ v zadachah sovremennoj geodinamiki Vostochno-evropejskoj platformy*, Geofizicheskaja sluzhba RAN, Petrozavodsk, 2007].

Список литературы (ГОСТ)

- [1] Костров Б. В. Механика очага тектонического землетрясения. М.: Наука, 1975.
- [2] Тарасов Н. Т. Влияние сильных электромагнитных полей на скорость сейсмотектонических деформаций // Доклады РАН. 2010. Т. 433, № 5. С. 689–692.
- [3] Нейлор К. Как построить свою экспертную систему. М.: Энергоатомиздат, 1991.
- [4] Шаров Н. В. Землетрясения и микросейсмичность в задачах современной геодинамики Восточно-европейской платформы. Петрозаводск: Геофизическая служба РАН, 2007.

Для цитирования: Черный С. Э., Ефременко А. Н., Канарский И. Д., Подчасский А. С. Методика оперативного контроля сейсмической обстановки в заданном районе // *Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки*. 2017. № 4(20). С. 101-108. DOI: 10.18454/2079-6641-2017-20-4-101-108

For citation: Cherny S., Efremenko A., Kanarsky I., Podchassky A. Technique of seismic situation control a given area, *Vestnik KRAUNC. Fiz.-mat. nauki*. 2017, **20**: 4, 101-108. DOI: 10.18454/2079-6641-2017-20-4-101-108

Поступила в редакцию / Original article submitted: 30.11.2017