

ISSN 1609-364X (print)

ГЕОИНФОРМАТИКА

Журнал о геоинформационных технологиях
в геологии, землепользовании, геоэкологии

Издается
с 1992 года

4 **2022**



GEOINFORMATIKA

Journal of geoinformation technologies
in geology, land use, geoecology

Since 1992

Геоинформатика. 2022. № 4. С. 54–62.
Geoinformatika. 2022;(4):54–62.

Материалы VI Всероссийской конференции ITES-2022

Научная статья

УДК 004.67

<https://doi.org/10.47148/1609-364X-2022-4-54-62>

DDLAFS — плагин QGIS для оценки доминирующих направлений системы локальных активных разломов

© 2022 г. — Игорь Вячеславович Емельянов^{1, а)}, Анастасия Корнельевна Некрасова^{2, 3, б)}

¹ МИРЭА — Российский технологический университет; Россия, г. Москва

² Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН; Россия, г. Москва

³ Институт физики Земли имени О.Ю. Шмидта РАН; Россия, г. Москва

^{а)}emelyanov.i.v@edu.mirea.ru, ^{б)}nastia@mitp.ru

Аннотация: QGIS — широко используемая географическая информационная система с открытым исходным кодом. DDLAFS — это специализированный плагин на языке Python для решения тематических задач. Плагин разработан как набор функций, позволяющих рассчитать доминирующие направления региональной системы активных разломов ψ_i . Оценка доминирующих направлений локальной системы активных разломов дается в пределах круговой области Δ_R , где R — радиус, определяемый пользователем. Центры областей Δ_R должны быть представлены набором точечных объектов $\{g\}$. Это могут быть эпицентры главных толчков, сейсмогенные узлы, точки регулярной сетки и т.д. В случае если $\{g(M)\}$ представлен данными о сейсмических событиях, $R(g)$ может быть определен в зависимости от магнитуды M конкретного землетрясения. В плагине предусмотрена оценка $R(M)$ с использованием зависимости [11]. Для одной области может быть определено n доминирующих направлений, каждому из которых соответствует эмпирическое значение вероятности плотности распределения азимутов активных разломов $\{\psi_i, p_i \mid i = 1, \dots, n; \sum p_i = 1\}$.

Плагин DDLAFS разработан как часть анизотропной модели сейсмического воздействия в терминах макросейсмической интенсивности [6].

Ключевые слова: QGIS, плагин, анизотропное воздействие, доминирующее направление, система активных разломов

Для цитирования: Емельянов И.В., Некрасова А.К. DDLAFS — плагин QGIS для оценки доминирующих направлений системы локальных активных разломов // Геоинформатика. — 2022. — № 4. — С. 54–62. <https://doi.org/10.47148/1609-364X-2022-4-54-62>.

VI All-Russian Conference ITES-2022

Original article

DDLAFS — QGIS plugin for dominant directions of the local active fault system estimation

© 2022 — Igor V. Emelyanov^{1, а)}, Anastasia K. Nekrasova^{2, 3, б)}

¹ MIREA — Russian Technological University; Moscow, Russia

² Institute of Earthquake Prediction Theory and Mathematical Geophysics, Russian Academy of Sciences; Moscow, Russia

³ Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences; Moscow, Russia

^{а)}emelyanov.i.v@edu.mirea.ru, ^{б)}nastia@mitp.ru

Abstract: QGIS is a widely used open-source geographic information system. DDLAFS is a specialized plugin in Python to solve thematic problems. The plugin is designed as a set of functions allowing to calculate the dominant directions of the regional active fault system ψ_i . The estimation of the dominant directions of the local active fault system is given within a circular area Δ_R , where R is a user-defined radius. The centres of regions Δ_R should be represented by a set of point objects $\{g\}$. These may be epicentres of main shocks, seismogenic nodes, regular grid points, etc. If $\{g(M)\}$ is represented by data on seismic events, $R(g)$ can be determined depending on the magnitude M of a certain earthquake. The plugin provides an estimate of $R(M)$ using the dependence [11]. For one area, n dominant directions can be determined, each of which corresponds to an empirical value of the probability density distribution of azimuths of active faults, $\{\psi_i, p_i \mid i = 1, \dots, n; \sum p_i = 1\}$.

The DDLAFS plugin is designed as part of an anisotropic seismic model in terms of macroseismic intensity [6].

Key words: QGIS, plugin, anisotropic propagation, dominant direction, active faults

For citation: Emelyanov I.V., Nekrasova A.K. DDLAFS — QGIS plugin for dominant directions of the local active fault system estimation. *Geoinformatika*. 2022;(4):54–62. <https://doi.org/10.47148/1609-364X-2022-4-54-62>. In Russ.

Введение

Современные ГИС-системы предоставляют широкую палитру возможностей по созданию и обработке цифровых баз данных (БД). При этом обработка доступного материала с привлечением ГИС-технологий для каждой отдельной исследовательской или прикладной задачи представляет собой достаточно трудоемкий процесс, требующий больших временных затрат. Создание автоматических систем обработки на базе ГИС-систем — востребованный пользовательский инструмент.

Quantum GIS (QGIS) — широко используемая географическая информационная система с открытым исходным кодом. QGIS содержит, как уже встроенные основные модули, которые поддерживаются командой разработчиков и входят в каждый обновленный релиз, так и внешние модули, находящиеся в репозитории и подгружаемые с помощью соответствующих функций. Эти модули написаны, как правило, на языке Python и используются для анализа векторных и растровых данных. QGIS на данный момент позволяет работать с широким спектром инструментов анализа, геопроецирования, выборки, управления базами данных и геометрией [3].

На момент написания данной статьи (ноябрь, 2022 г.) официальный сайт QGIS (www.qgis.org) информирует о выходе очередного релиза системы — QGISv3.28. Пользовательский мануал «руQGIS cookbook» (<https://plugins.qgis.org/>) содержит актуальную информацию по разработке и подключению внешних модулей QGIS. По ссылке <https://plugins.qgis.org/plugins/> доступен репозиторий уже подключенных внешних модулей, в котором содержится, в том числе, и значительное количество тематических плагинов.

Пространственные данные по разломной тектонике оформленные в виде цифровых баз данных (БД) в последние годы были актуализированы и пополнены для большого числа регионов мира. Например, БД об активных разломах Евразии, представленная на сайте Лаборатории неотектоники и современной геодинамики Геологического института Российской академии наук (<http://neotectonics.ru>) объединила в едином формате материал, накопленный к настоящему времени многими исследователями для территории Евразии и прилегающих акваторий. БД содержит информацию о более 20 тысячах географически привязанных объектов — разломов, зонах разломов и связанных с ними структурных форм с признаками последних перемещений в позднем плейстоцене и голоцене [1].

Восточно-сибирский портал “ActiveTectonics” (<http://activetectonics.ru/>), разрабатываемый в ла-

боратории тектонофизики Института земной коры СО РАН, предоставляет в открытом доступе цифровые обобщенные данные геокартирования плиоцен-четвертичных разломов, косейсмических эффектов и сейсмогенных источников для территории юго-Восточной Сибири и в Северной Монголии [2].

Европейская БД об активных сейсмогенных разломах (EDSF13) (<https://seismofaults.eu/>) включает только те разломы, которые, как считается, способны генерировать землетрясения магнитудой 5,5 или более, и направлена на обеспечение однородного исходного материала для использования при оценке сейсмической опасности в Европейско-Средиземноморском регионе [5]. С 2015 года ведется разработка и пополнение единой базы данных поверхностных сейсмических смещений (SURE). В августе 2022 г. опубликованы данные версии SURE 2.0 (<https://zenodo.org/record/7020265#.Y1e8IUxBxdg>) [7].

Стандартные методы обработки ГИС-систем широко применяются к анализу и обработке пространственных данных об активных разломах и косейсмических эффектов. Среди внешних плагинов QGIS есть как отдельные крупные модули для создания, пополнения и обработки сведений об активных разломах, так и тематические плагины для конкретных прикладных задач.

В статье представлен стартовая версия плагина DDLAFS (*DOMINANT DIRECTIONS OF THE LOCAL ACTIVE FAULT SYSTEM*) для определения доминирующих направлений локальных систем активных разломов. Его программная реализация позволяет автоматизировать решение следующих задач:

- 1) построение круговых областей заданных радиусов на территории выделенного региона исследования;
- 2) оценка доминирующих направлений активных разломов в пределах построенных круговых областей;
- 3) экспорт полученных результатов в текстовые CSV-файлы или визуализация результатов с сохранением их в виде пространственных данных — SHP-файлов.

Плагины

Структура кода

Плагины реализованы на языке Python и используют библиотеки PyQt, предназначенные для создания приложений с графическим интерфейсом с помощью инструментария Qt. А именно, используются библиотеки QSettings, QTranslator, QCoreApplication QIcon QAction, QtCore.

Метод проекционных преобразований

Пространственная информация об активных разломах представлена в БД в виде географических координат, т.е. значениями широты и долготы, выраженных в градусах. Плагин предполагает работу в географических координатах (WGS84), при этом, построение круговых зон Δ_R для определения доминирующих направлений активных разломов выполняется по формуле Vincenty [10]. Напомним, что этот метод используется для расчета расстояния между двумя точками на поверхности сфероида, в предположении, что фигура Земли представляет собой продолговатый сфероид. Точность определения расстояния менее 1 см и достаточна для задач, которые реализует плагин.

Пользовательский интерфейс

Функционал пользовательского интерфейса плагина на момент публикуемой статьи представлен на рис. 1. Реализованные в представленном интерфейсе возможности описаны в таблице 1. Плагин обращается к активному QGIS-проекту пользователя и работает со слоями этого проекта.

Набор доступных функций плагина можно разделить на категории: выбор пространственных входных данных, параметры вычислений и экспорт данных (таблица 1).

Пример

В параграфе демонстрируется пример применения плагина DDLAFS с использованием реальной

Рис. 1. Окно пользовательского интерфейса плагина DDLAFS (v1.2)

Fig. 1. The DDLAFS plugin user interface window (v1.2)

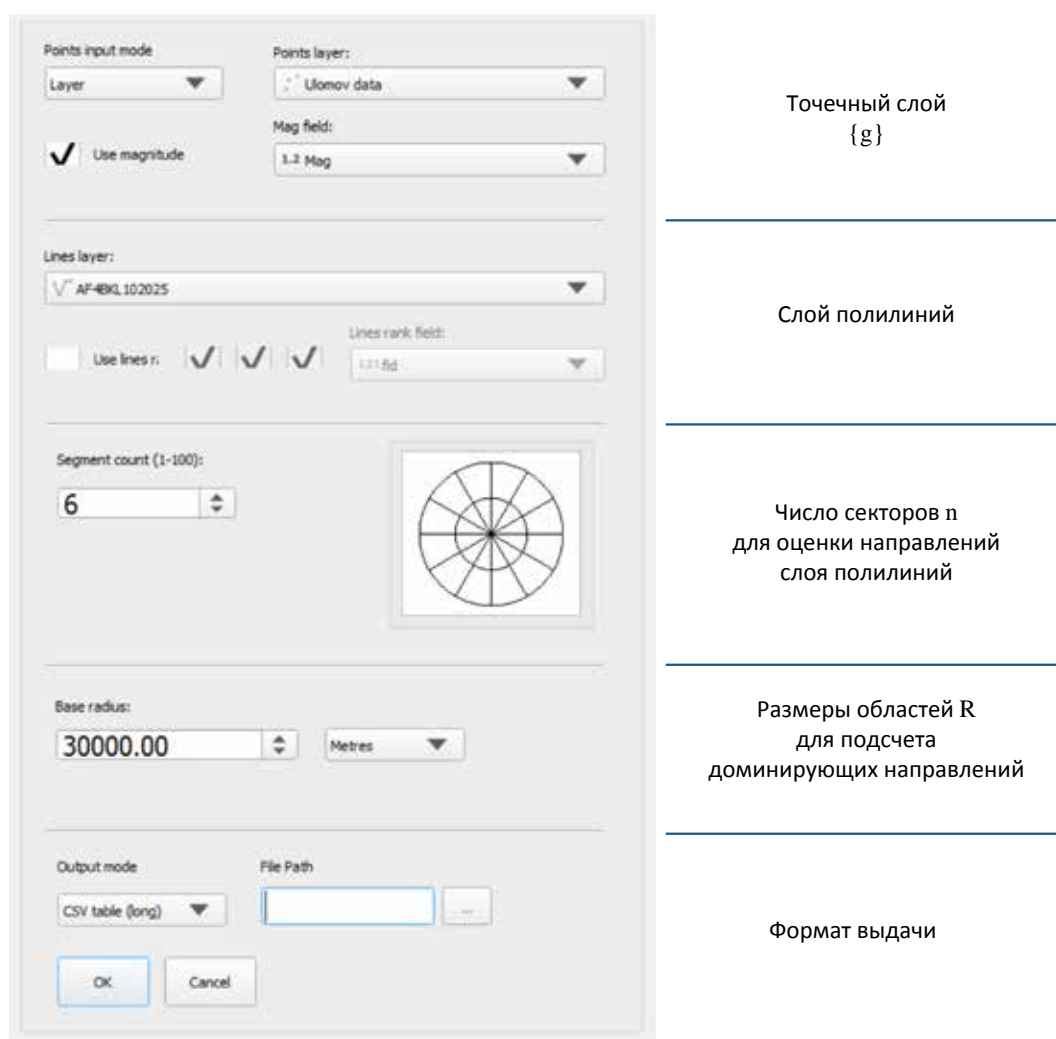


Табл. 1. Функционал пользовательского интерфейса на момент подачи статьи в редакцию (DDLAFS v1.2).

Tab. 1. Operational performance of the user interface at the time of article submission (DDLAFS v1.2).

Название	Интерфейс (Графический Процессорный)	Описание
Пространственные входные данные		
<i>Points input mode</i> Точечный слой {g}	да да	Слой точек. « <i>Coordinates</i> » — слой создается в процессе работы плагина, точки задаются пользователем в активном проекте. Атрибутивная таблица слоя содержит только поля широта и долгота. « <i>Layer</i> » — подгружается точечный слой из активного проекта QGIS. Имя выбирается в поле « <i>Points Layer</i> ». Может содержать информацию об отдельных землетрясениях региона исследования, морфоструктурных узлах пересечения линеаментов, узлах координатной сетки и т.д. Если слой указанный в « <i>Points Layer</i> » — данные о землетрясениях ($\{g(M)\}$), то пользователем может быть выбрана опция учета магнитуды каждого события « <i>Use magnitude</i> », при этом радиусы круговых областей с центрами в точках слоя будут определяться значением магнитуды ($R(M)$). Поле в атрибутивной таблице в котором содержатся данные о магнитудах указывается в « <i>Mag field</i> ».
<i>Lines layer</i> Слой полилиний	да да	База данных об активных разломах выбранного региона. В поле « <i>Lines layer</i> » выбирается имя подгружаемого слоя полилиний из активного проекта QGIS. Опция « <i>Use line rank</i> » позволяет включать в обработку только разломы определенного ранга. Ранг разломов для обработки указывается в окнах « <i>I</i> », « <i>II</i> », « <i>III</i> ». По умолчанию рассматриваются разломы всех рангов. Поле в атрибутивной таблице в котором содержатся данные о ранге полилинии выбирается в окне « <i>Lines rank field</i> »
Параметры вычислений		
<i>Segment for count</i> Точность определения доминирующих направлений, n	нет да	Выбор точности определения азимутов доминирующих направлений. Задается числом секторов n , в которых будет выполнена оценка направлений слоя полилиний. Все сектора будут иметь одинаковую ширину (одинаковое количество охваченных градусов). Сектора выбираются «ориентационно» нейтральными, так что значение соответствующие середине градусного интервала сектора располагаются в интервале от 0 до 180 градусов вместо 0–360 градусов. Отметим, что, по умолчанию задается угловое смещение против часовой стрелки, так, что бы среднее значение первого сектора соответствовало направлению строго на север ($\psi=0$). Средние направления выбранных пользователем секторов отображается графически в поле интерфейса.
<i>Base radius</i> Размеры областей ΔR для подсчета доминирующих направлений	нет да	Выбор радиуса (радиусов) круговых областей для определения доминирующих направлений слоя полилиний. Значение по умолчанию 30000. « <i>Meters</i> » — единицы измерения в метрах; « <i>Kilometres</i> » — единицы измерения в километрах. Если в параметрах входных данных выбрана опция использования магнитуды, то для землетрясений с магнитудами $M \geq 7,2$, радиус R круговой области определяется по формуле $R(M) = \frac{1}{2} \times 10^{\alpha + \beta M}$, где $\alpha = -2,29$, $\beta = 0,57$ [1], если значение $M \geq 7,2$, для землетрясений с магнитудами $M < 7,2$, значение радиуса R вводится в поле « <i>Base radius</i> ».
Экспорт данных		
Output Формат выдачи	нет да	Результаты обработки могут быть представлены в виде 1) csv-файла — опция « <i>CSV table</i> ». Доступны два формата csv-файла « <i>long</i> » — $g(\text{Lat}), g(\text{Long}), R, M, \sum L, \{\psi_i, p_i \mid i = 1, \dots, n\}$; « <i>short</i> » — $g(\text{Lat}), g(\text{Long}), \{\psi_i, i=1, \dots, n\}$. 2) shp-файла — опция « <i>Shp-file</i> ». Пользователь может выбрать полноту информации выводимой в shp-файл • опция « <i>p-max</i> » — в QGIS проект добавляется слой только с направлениями, имеющими максимальные эмпирические вероятности в каждой области, $p_i = \max$; • « <i>p ≥ pMag</i> » — в QGIS проект добавляется слой со всеми полученными доминирующими направлениями (зависит от количества указанных секторов, n) — $\{\psi_i, p_i \mid i = 1, \dots, n; \sum p_i = 1\}$. Эмпирическая вероятность p_i каждого направления визуализируется градуированным цветом в соответствии со значением вероятности (от красного — максимального, к синему — минимальному) • « <i>Area</i> », в проект добавляется слой областей ΔR . « <i>File Path</i> » — указывается адрес записи файла на жестком диске.

базы данных об активных разломах. Целью приво-димого небольшого тематического исследования будет построение карты доминирующих направле-ний активных разломов для территории Прибайка-ля используя автоматизированную модельную структуру в QGIS.

Доминирующие направления активных раз-ломов представленных в базе данных Active Faults of Eurasia Database [1] для территории Прибайка-ля, определены для круговых окрестностей ради-усами $R(M)$ для каждого инструментального или исторического землетрясения с магнитудой $M \geq 6,7$, произошедшего в районе озера Байкал в пределах $48^\circ-59^\circ N$ и $98^\circ-120^\circ E$ с -9999 до н.э. по 2013 н.э. [4]. Входные данные для работы плагина представлены на рис. 2. Эмпирическая вероятность доминирую-щих направлений определена для каждого из шести «нейтрально» ориентированных секторов.

Результат работы плагина DDLAFS представ-лен на рис. 3 и рис. 4. 25 областей имеют радиус

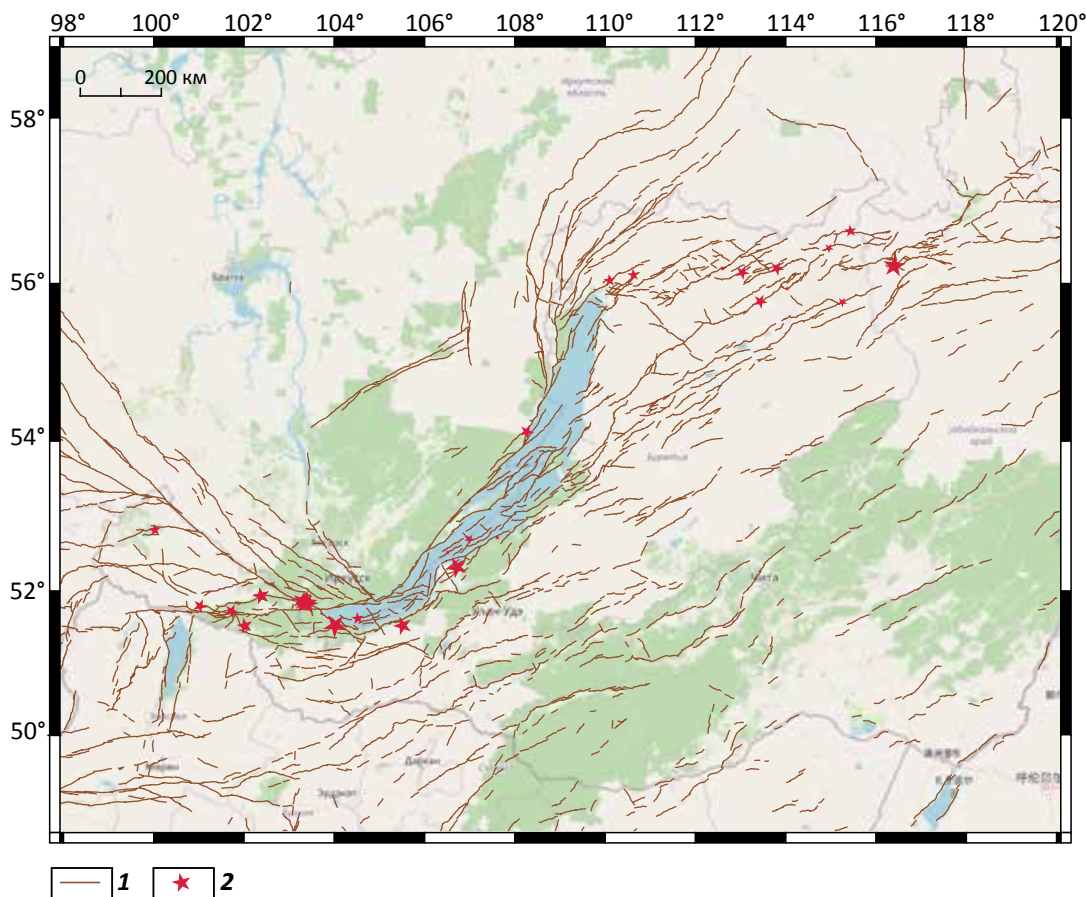
30 км. Для девяти областей радиусы рассчитаны в зависимости от магнитуды соответствующего зем-летрясения. На рис. 3 представлен вывод в тексто-вый CVS-файл, доминирующих направлений для 34 круговых областей, соответствующих 34 сильней-шим землетрясениям рассматриваемого региона с магнитудами $M \geq 6,7$. Карта региона с областями Δ_R и доминирующими направлениями с максималь-ной эмпирической вероятностью для каждой обла-сти (опция «*p-max*») представлена на рис. 4. Линии, соответствующие доминирующим направлениям, имеют цветовую градацию в зависимости от зна-чения максимальной эмпирической вероятности, а именно, $28\% \leq p_i < 50\%$ – синий цвет, $50\% \leq p_i < 75\%$ – зеленый цвет, $75\% \leq p_i < 95\%$ – желтый цвет.

Заключение

В статье представлен новый плагин DDLAFS для ГИС-системы QGIS, который позволяет опреде-лять и визуализировать доминантные направления

Рис. 2. Входные данные для работы плагина DDLAFS в регионе озера Байкал

Fig. 2. The DDLAFS plugin Input data for the Lake Baikal Region



1 — активные разломы региона (~2500) [2]; 2 — землетрясения региона, $M \geq 6,7$ с 9999 до н.э. по 2013 н.э. [4]
 1 — active faults of the region (~2500) [2]; 2 — earthquakes of the region, with $M \geq 6,7$ from 9999 BC to 2013 AD [4]

Рис. 3. Пример представления результативных данных в виде CVS-таблицы

Fig. 3. Example of the output data representation in the form of a CVS-table

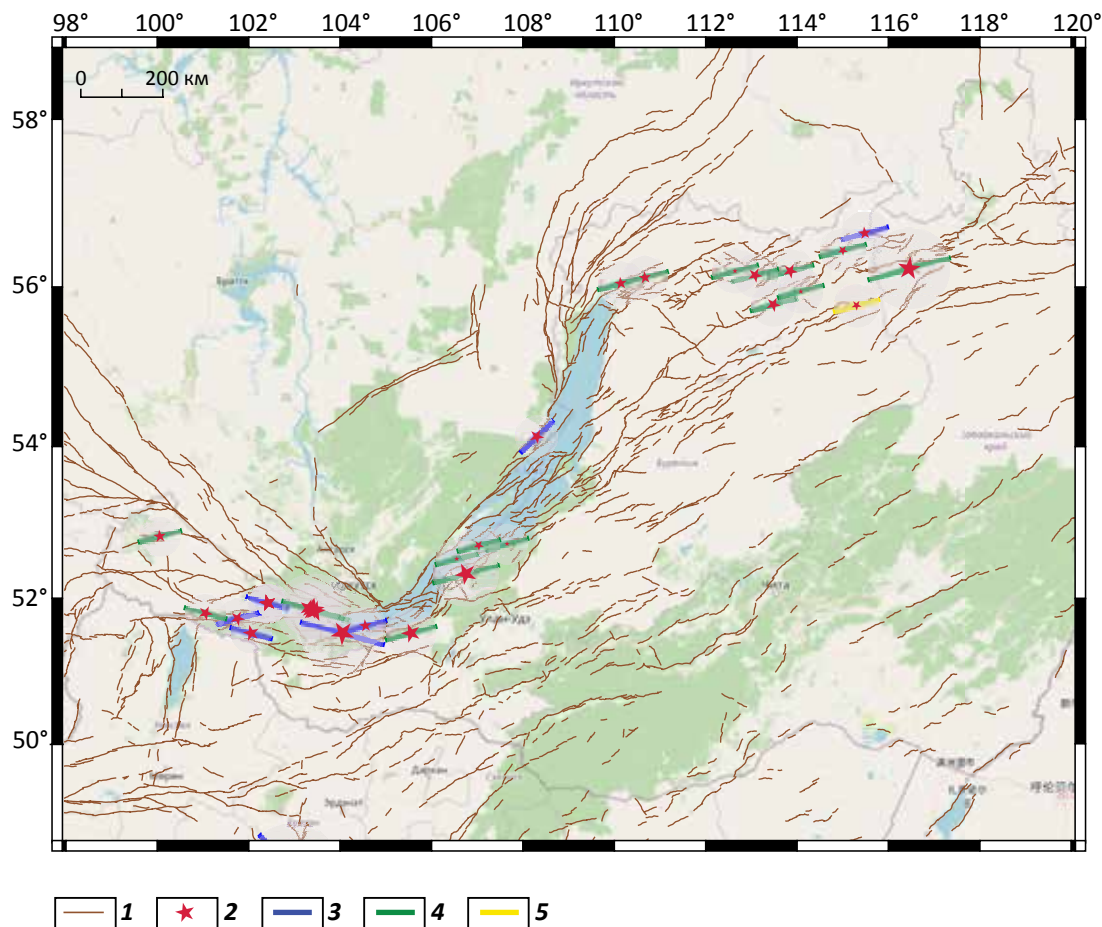
№	Lat	Long	R	Mag	Year	Month	Day	IL	0	30	60	90	120	150
1	103,25	51,84	32581,4	7,2	-7670	0	0	309985,0	1%	1%	12%	75%	9%	2%
2	103,35	51,82	55077,0	7,6	-5600	0	0	764818,6	2%	1%	19%	64%	12%	2%
3	102,36	51,91	30000,0	7,1	-4890	0	0	216721,7	1%	3%	41%	49%	6%	
4	102,36	51,91	30000,0	7,1	-3170	0	0	216721,7	1%	3%	41%	49%	6%	
5	103,40	51,80	42361,4	7,4	-2700	0	0	508925,6	2%		15%	68%	13%	2%
6	102,36	51,91	30000,0	7,1	-2210	0	0	216721,7	1%	3%	41%	49%	6%	
7	102,36	51,91	30000,0	7,1	-1770	0	0	216721,7	1%	3%	41%	49%	6%	
8	102,36	51,91	30000,0	7,1	-1590	0	0	216721,7	1%	3%	41%	49%	6%	
9	113,80	56,17	30000,0	7,0	-150	0	0	275516,1	1%	12%	67%	17%	3%	
10	103,31	51,83	42361,4	7,4	200	0	0	511386,0	2%		14%	69%	14%	2%
11	115,25	55,75	30000,0	6,8	900	0	0	135367,5		2%	85%	13%		
12	113,43	55,76	30000,0	7,0	900	0	0	117296,0		25%	69%	6%		
13	114,03	55,92	30000,0	6,7	900	0	0	180411,7	2%	28%	52%	13%	6%	
14	115,43	56,63	30000,0	6,9	900	0	0	120266,2	4%	7%	45%	44%		
15	108,25	54,10	30000,0	7,0	1500	0	0	193282,3	13%	49%	37%	1%		
16	110,62	56,09	30000,0	6,9	1500	0	0	223454,0		12%	71%	16%	1%	
17	113,03	56,12	30000,0	7,0	1500	0	0	256693,4		12%	69%	16%	3%	
18	114,95	56,42	30000,0	6,8	1500	0	0	196679,4	4%	20%	55%	21%		
19	110,09	56,02	30000,0	6,9	1600	0	0	260308,0	3%	20%	59%	18%	1%	
20	104,00	51,50	62801,5	7,7	1742	6	27	1021662,4	2%	6%	35%	48%	8%	1%
21	105,50	51,50	37151,0	7,3	1769	10	24	241792,7		14%	63%	15%	8%	
22	100,00	52,80	30000,0	6,9	1800	0	0	104559,6		2%	59%	40%		
23	101,70	51,70	30000,0	7,0	1829	3	7	308238,3		8%	48%	38%	4%	2%
24	102,00	51,50	30000,0	7,1	1839	8	18	188485,4		11%	33%	47%	7%	3%
25	106,70	52,30	48302,5	7,5	1862	1	12	621131,7	9%	25%	52%	7%	6%	2%
26	112,59	56,17	30000,0	6,7	1875	0	0	216196,9	1%	11%	60%	24%	4%	
27	106,50	52,50	30000,0	6,7	1885	1	12	303796,6	3%	31%	58%	4%	3%	1%
28	104,50	51,60	30000,0	6,9	1902	4	11	322524,4		3%	46%	35%	15%	1%
29	107,60	52,70	30000,0	6,7	1903	11	26	205813,9		39%	55%	2%	3%	
30	101,00	51,77	30000,0	7,0	1950	4	4	226199,3	5%	6%	24%	62%	1%	2%
31	116,40	56,20	55077,0	7,6	1957	6	27	640159,8	3%	17%	52%	26%	2%	1%
32	106,98	52,68	30000,0	6,8	1959	8	29	297728,2	2%	27%	58%	8%	5%	
33	102,90	48,20	71609,4	7,8	1967	1	5	570464,7	17%	7%	16%	14%	28%	18%
34	103,00	48,00	30000,0	7,0	1967	1	20	119787,2	15%	1%	14%	17%	38%	15%

Доминирующие направления определены для 34 круговых областей, соответствующих 34 сильнейшим землетрясениям Прибайкалья, $M \geq 6,7$, с 9999 до н.э. по 2013 н.э. [4].

The dominant directions were determined for 34 circular areas corresponding to 34 strongest earthquakes of the Lake Baikal Region, $M \geq 6,7$ from 9999 BC to 2013 AD [4].

Рис. 4. Карта доминирующих направлений с максимальными эмпирическими вероятностями для каждой области (опция «p-max»), для 34 круговых областей, соответствующих 34 сильнейшим землетрясениям Прибайкалья, $M \geq 6,7$, с 9999 до н.э. по 2013 н.э. [4].

Fig. 4. Dominant directions with maximum empirical probabilities for each region (option "p-max"), for 34 circular regions corresponding to 34 strongest earthquakes of the Lake Baikal Region, $M \geq 6,7$ from 9999 BC to 2013 AD [4].



1 — активные разломы региона (≈ 2500) [5]; **2** — землетрясения региона, $M \geq 6,7$ с 9999 до н.э. по 2013 н.э. [4]; **3** — $28\% \leq p < 50\%$; **4** — $50\% \leq p < 75\%$; **5** — $75\% \leq p < 95\%$

1 — active faults of the region (≈ 2500) [5]; **2** — earthquakes of the region, with $M \geq 6,7$ from 9999 BC to 2013 AD [4]; **3** — $28\% \leq p < 50\%$; **4** — $50\% \leq p < 75\%$; **5** — $75\% \leq p < 95\%$

локальных областей активных разломов. Плагин DDLAFS разработан как часть анизотропной модели сейсмического воздействия в терминах макросейсмической интенсивности [6], которая в свою очередь является частью нео-детерминистского подхода [8, 9] к оценке сейсмической опасности и ассоциированных рисков. Благодаря функциональной интеграции в QGIS плагин может быть использован и в других сложных пространственных моделях. Авто-

ры надеются, что этот плагин может быть полезен как для сейсмологов, так и для других пользователей, работающих с ГИС-продуктами с открытым исходным кодом.

Плагин является бесплатным, с открытым исходным кодом и может быть изменен и распространен потенциальными пользователями. Код плагина DDLAFS размещен в репозитории GITHUB (github.com/IE4326/DDLAFS).

Благодарности

Работа выполнена в рамках темы госзадания ИТПЗ РАН и договора ИТПЗ РАН и кафедры «Геоинформатики» ГТУ МИРЭА о практической подготовке обучающихся, а также в рамках госзадания Института Физики Земли им О.Ю. Шмидта.

Список источников

1. Бачманов Д.М., Кожурин А.И., Трифонов В.Г. База данных активных разломов Евразии // Геодинамика и тектонофизика. – 2017. – Vol. 8. – No. 4. – pp. 711–736. DOI: 10.5800/GT-2017-8-4-0314.
2. Лунина О.В. Цифровая карта разломов для плиоцен-четвертичного этапа развития земной коры Юга Восточной Сибири и сопредельной территории Северной Монголии // Геодинамика и тектонофизика. – 2016. – Т. 7. – № 3. – С. 407–434. DOI: 10.5800/GT-2016-7-3-0215.
3. Пашковская О.В., Новоселов О.В., Потапенко И.А. Анализ данных в геоинформационной системе QGIS // Решетневские чтения : Материалы XXIV Междунар. науч.-практ. конф. памяти акад. М.Ф. Решетнева (Красноярск, 10-13 ноября 2020 г.). – Ч. 2. – Красноярск : СибГУ им. М.Ф. Решетнева, 2020. – С. 345–346.
4. Специализированный каталог землетрясений для задач общего сейсмического районирования территории Российской Федерации [Электронный ресурс] / ред. В.И. Уломов, Н.С. Медведева; Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта, РАН. – Режим доступа: <http://seismos-u.ifz.ru/documents/Earthquake-Catalog-%D0%A1%D0%9A%D0%97.pdf> (дата обращения 16.11.2022).
5. Basili R., Kastelic V., Demircioglu M. B. et. al. The European Database of Seismogenic Faults (EDSF) compiled in the framework of the Project SHARE. // 2013. DOI: 10.6092/INGV.IT-SHARE-EDSF.
6. Nekrasova A., Kossobokov V. The Lake Baikal Region anisotropic seismic impact modelling for realistic assessment of associated risks and disaster scenarios // Proceedings of the Third European Conference on Earthquake Engineering and Seismology – 3ECEE (Bucharest, 5–9 September 2022) / ed. C. Arion, A. Scupin, A. Țigănescu. – București : Conspress, 2022. – pp. 3915–3921.
7. Nurminen F., Baize S., Boncio P., Blumetti A.M., Cinti F.R., Civico R., Guerrieri L. SURE 2.0 [Data set] [Электронный ресурс] // Zenodo. – 2022. – Режим доступа: <https://zenodo.org/record/7020265#Y3SOPOrP0cU> (дата обращения 16.11.2022). DOI: 10.5281/zenodo.7020265.
8. Panza G.F., Bela J. NDSHA: A new paradigm for reliable seismic hazard assessment // Engineering Geology. – 2020. – Vol. 275. – 105403. DOI: 10.1016/j.enggeo.2019.105403.
9. Parvez I.A., Magrin A., Vaccari F., Ashish, Mir R.R., Peresan A., Panza G.F. Neo-deterministic seismic hazard scenarios for India—a preventive tool for disaster mitigation // Journal of Seismology. – 2017. – Vol. 21. – pp. 1559–1575. DOI: 10.1007/s10950-017-9682-0.
10. Vincenty T. Direct and Inverse Solutions of Geodesics on the Ellipsoid with application of nested equations // Survey Review. – 1975. – Vol. 23. – Iss. 176. – pp. 88–93. DOI: 10.1179/sre.1975.23.176.88.
11. Wells D.L., Coppersmith K.J. New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement // Bulletin of the Seismological Society of America. – 1994. – Vol. 84. – Iss. 4. – pp. 974–1002. DOI: 10.1785/BSSA0840040974.

References

1. Bachmanov D.M., Kozhurin A.I., Trifonov V.G. The Active Faults of Eurasia Database. *Geodynamics & Tectonophysics*. 2017;8(4):711–736. DOI: 10.5800/GT-2017-8-4-0314.
2. Lunina O.V. The digital map of the Pliocene–Quaternary crustal faults in the Southern East Siberia and the adjacent Northern Mongolia. *Geodynamics & Tectonophysics*. 2016;7(3):407–434. DOI: 10.5800/GT-2016-7-3-0215.
3. Pashkovskaya O.V., Novoselov O.V., Potapenko I.A. Data analysis in geographic information system QGIS. In: Reshetnevskie chteniya: Materialy XXIV Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. pamyati akad. M.F. Reshetneva ((Krasnoyarsk, 10-13 November 2020). Pt. 2. Krasnoyarsk: SiBGU im. M.F. Reshetneva, 2020. pp. 345–346.
4. Ulovov V.I., Medvedeva N.S. (eds.) Spetsializirovanniy katalog zemletryaseni dlya zadach obshchego seismicheskogo raionirovaniya territorii Rossiiskoi Federatsii [Specialized catalog of earthquakes for tasks of general seismic zoning of the territory of the Russian Federation]. Available at: <http://seismos-u.ifz.ru/documents/Earthquake-Catalog-%D0%A1%D0%9A%D0%97.pdf> (accessed 15.11.2022).
5. Basili R., Kastelic V., Demircioglu M. B. et. al. The European Database of Seismogenic Faults (EDSF) compiled in the framework of the Project SHARE. // 2013. DOI: 10.6092/INGV.IT-SHARE-EDSF.
6. Nekrasova A., Kossobokov V. The Lake Baikal Region anisotropic seismic impact modelling for realistic assessment of associated risks and disaster scenarios. In: Proceedings of the Third European Conference on Earthquake Engineering and Seismology – 3ECEE (Bucharest, 5–9 September 2022). Arion C., Scupin A., Țigănescu A., eds. București: Conspress; 2022. pp. 3915–3921.
7. Nurminen F., Baize S., Boncio P., Blumetti A.M., Cinti F.R., Civico R., Guerrieri L. SURE 2.0 [Data set]. Zenodo. 2022. Available at: <https://zenodo.org/record/7020265#Y3SOPOrP0cU> (accessed 16.11.2022). DOI: 10.5281/zenodo.7020265.
8. Panza G.F., Bela J. NDSHA: A new paradigm for reliable seismic hazard assessment. *Engineering Geology*. 2020;275:105403. DOI: 10.1016/j.enggeo.2019.105403.
9. Parvez I.A., Magrin A., Vaccari F., Ashish, Mir R.R., Peresan A., Panza G.F. Neo-deterministic seismic hazard scenarios for India — a preventive tool for disaster mitigation. *Journal of Seismology*. 2017;21:1559–1575. DOI: 10.1007/s10950-017-9682-0.
10. Vincenty Th. Direct and Inverse Solutions of Geodesics on the Ellipsoid with application of nested equations. *Survey Review*. 1975;23(176):88–93. DOI: 10.1179/sre.1975.23.176.88.
11. Wells D.L., Coppersmith K.J. New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement. *Bulletin of the Seismological Society of America*. 1994;84(4):974–1002. DOI: 10.1785/BSSA0840040974.

Статья поступила в редакцию 25.10.2022, одобрена после рецензирования 12.11.2022, принята к публикации 15.12.2022.
The article was submitted 25.10.2022; approved after reviewing 12.11.2022; accepted for publication 15.12.2022.

Информация об авторах

Емельянов Игорь Вячеславович

Студент 3 курса кафедры геоинформационных систем
Российский технологический университет МИРЭА
119454 Москва, Проспект Вернадского, д. 78
e-mail: emelyanov.i.v@edu.mirea.ru

Некрасова Анастасия Корнельевна

Кандидат физико-математических наук
Ведущий научный сотрудник института теории прогноза
землетрясений и математической геофизики РАН
117997 Москва, ул. Профсоюзная, д. 84/32
Доцент института физики Земли имени О.Ю. Шмидта РАН
123242 Москва, ул. Большая Грузинская, д. 10, стр. 1
e-mail: nastia@mitp.ru
ORCID: 0000-0003-1639-1088

Information about authors

Igor V. Emelyanov

Student 3-d year, Department of Geographic Information Systems,
MIREA — Russian Technological University
78, Vernadsky Avenue, Moscow, 119454, Russia
e-mail emelyanov.i.v@edu.mirea.ru

Anastasia K. Nekrasova

Candidate of Physical and Mathematical Sciences,
Principal Researcher
Institute of Earthquake Prediction Theory and Mathematical
Geophysics, Russian Academy of Sciences
84/32, Profsoyuznaya str., Moscow, 117997, Russia
Postgraduate Program Lecturer of the Schmidt Institute of Physics
of the Earth of the Russian Academy of Sciences
10 build. 1, Bolshaya Gruzinskaya str., Moscow, 123242, Russia
e-mail: nastia@mitp.ru
ORCID: 0000-0003-1639-1088