

УДК 550.34

База данных сейсмологических наблюдений в Северомуйском районе Байкальского рифта в период работы локальной сети станций (1978–1993 гг.)

© 2024 г. Н.А. Гилёва¹, М.А. Хритова¹, В.И. Мельникова^{1,2}

¹БФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Иркутск, Россия; ²ИЗК СО РАН, г. Иркутск, Россия

Поступила в редакцию 19.08.2024 г.

Аннотация. Северомуйский район в геодинамическом отношении следует рассматривать как один из ключевых участков северо-восточного фланга Байкальской рифтовой зоны. Наличие здесь важнейших объектов инфраструктуры трассы Байкало-Амурской железнодорожной магистрали, в частности Северомуйского тоннеля, требует объективной оценки сейсмической опасности данной территории. В связи с необходимостью обеспечения сохранности всех первичных материалов сейсмологических наблюдений, а также возможностей их всестороннего анализа в БФ ФИЦ ЕГС РАН была выполнена работа по переводу уникального набора сейсмологических данных, полученных в период действия локальной сети сейсмических станций (1978–1993 гг.), в цифровой формат. До настоящего времени эта информация была представлена только в печатном виде. Разработанная база данных, обеспечивающая реляционный подход к хранению и управлению большими объёмами информации, содержит полные сведения о 15832 землетрясениях с $K_p=4-13$ (информация о станциях, каталоги, бюллетени и т.д.). Для удобства работы с базой данных создано клиентское приложение. В статье проиллюстрированы примеры работы с базой данных при решении типовых сейсмологических задач. Очевидно, что обширная сейсмологическая информация, представленная в цифровом виде, имеет важное значение для оценки сейсмической опасности территории исследования.

Ключевые слова: землетрясения, база данных, Северомуйский тоннель, Байкальская рифтовая зона.

Для цитирования: Гилёва Н.А., Хритова М.А., Мельникова В.И. База данных сейсмологических наблюдений в Северомуйском районе Байкальского рифта в период работы локальной сети станций (1978–1993 гг.) // Российский сейсмологический журнал. – 2024. – Т. 6, № 4. – С. 24–38. – DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2024.4.02>. – EDN: REMXNJ

Введение

В 70–80-х гг. прошлого столетия начался основной этап строительства Байкало-Амурской железнодорожной магистрали (БАМ). В этот период был заложен её центральный участок (от Северного Байкала до Чарской впадины, рис. 1а), расположенный на северо-восточном фланге Байкальской рифтовой зоны (БРЗ). Данная территория характеризуется чрезвычайно сложными геологическими и климатическими условиями, а также высоким уровнем сейсмической активности [*Сеймотектоника ...*, 1974; *Геология и сейсмичность ...*, 1985а].

Среди сейсмически активных областей БРЗ, через которые проходит трасса БАМ, Северомуй-

ский район ($\varphi=55.7-56.6^\circ\text{N}$; $\lambda=112.7-114.3^\circ\text{E}$) занимает особое место. Структурно-тектонические особенности и сеймотектоническая активность данного района обусловлены тем, что его территория охватывает часть Верхнеангарско-Муйской межвпадинной горной перемычки. Процесс переработки её внутренней структуры носит блоковый характер и тесно связан с рифтогенезом. Известно, что горные перемычки, разделяющие рифтовые впадины, в БРЗ характеризуются повышенной сейсмической опасностью [*Геология и сейсмичность ...*, 1984].

В сейсмичности Северомуйского района, как правило, проявлены отдельные блоки земной коры, разделённые современной сеткой разрывных нарушений различного ранга,

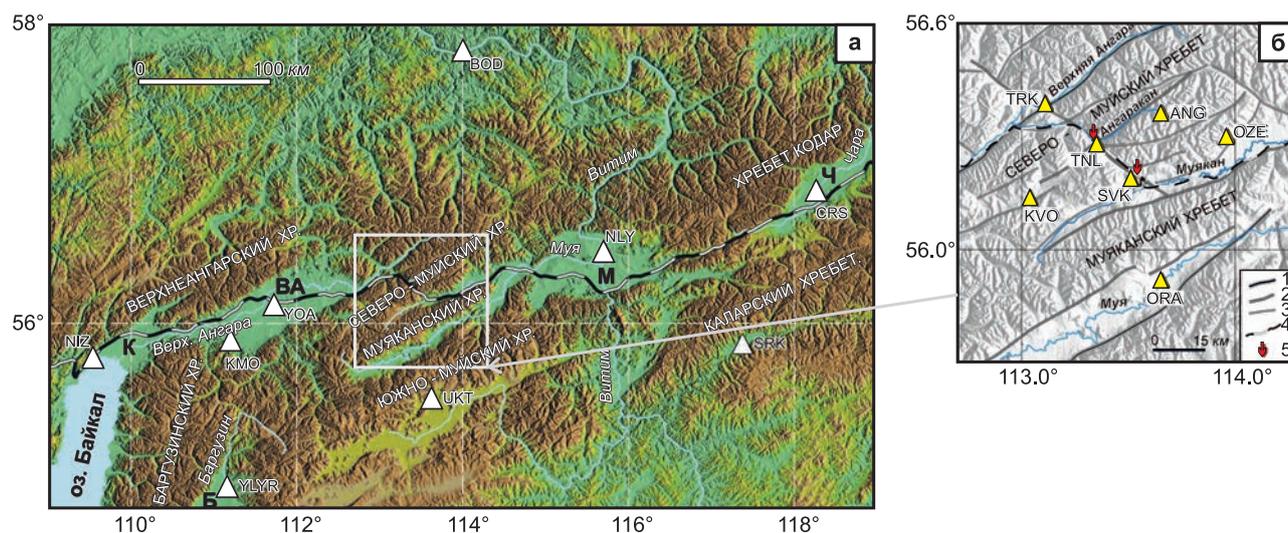


Рис. 1. Карта-схема Северного Прибайкалья:

а – впадины рифтового типа: К – Кичерская, ВА – Верхнеангарская, Б – Баргузинская, М – Муйская, Ч – Чарская; треугольниками отмечены региональные сейсмические станции с международными кодами [Старовойт, Мишаткин, 2001]; Северомуйский район выделен белым контуром;

б – схема сейсмических станций локальной сети на территории Северомуйского района; 1, 2, 3 – межблоковые, внутриблоковые и локальные внутриблоковые разломы, соответственно [Геология и сейсмичность ..., 1985а]; 4 – трасса БАМ; 5 – порталы Северомуйского тоннеля

сформировавшихся в результате длительной эволюции земной коры (рис. 1б) [Геология и сейсмичность ..., 1983; Разломы и сейсмичность ..., 1991]. В зоне одного из внутриблоковых разломов докайнозойского заложения, секущего поперёк рифтовые структуры, в крайне сложных геологических и гидрологических условиях был построен 15-километровый Северомуйский тоннель (основная часть горнопроходческих работ выполнена в период с 1977 по 1991 г.), имеющий важнейшее народнохозяйственное и стратегическое значение. Безопасность этого ответственного сооружения, безусловно, должна обеспечиваться постоянным мониторингом геологических и сейсмических процессов. Необходимость таких наблюдений обусловлена наличием в районе сильных землетрясений ($M \geq 5.5$) и палеосейсмотектонических структур, связанных с катастрофическими сейсмическими событиями (магнитудами более 7 и интенсивностью не менее 9 баллов) [Новый каталог ..., 1977; Геология и сейсмичность ..., 1985б; Chirizubov et al., 2010].

В комплексе геолого-геофизических исследований центрального участка БАМ, результаты которых опубликованы в серии монографий [Геология и сейсмичность ..., 1983; 1984; 1985а; 1985б; Ангараканский рой ..., 1987], особая роль отводится детальным сейсмологическим наблюдениям. Последние на территории северо-восточного фланга БРЗ в разные временные интервалы

осуществлялись как стационарными сейсмическими станциями, так и временными [Геология и сейсмичность ..., 1983]. В частности, ценная сейсмологическая информация была получена в результате развития в Северомуйском районе в 1977–1993 гг. локальной сети из семи высокочувствительных сейсмических станций с гальванометрической регистрацией и развёрткой записи 120 мм/мин (рис. 1б, табл. 1). Отметим, что условия регистрации землетрясений на всех станциях (кроме станции «Тоннельный») были близки и отличались низким уровнем помех [Ангараканский рой ..., 1987].

В общей сложности, в период 1978–1993 гг. в Северомуйском районе (в границах рис. 1б) было зарегистрировано 15832 землетрясения малой и умеренной силы ($K_p=4-13$), при этом в сейсмическом поле выделились области с повышенной плотностью эпицентров. Особое внимание в этом смысле привлекал крупный Ангараканский рой землетрясений (1979–1984 гг.), насчитывающий около 4 тыс. землетрясений с $K_p=4-12$, локализованных в среднем течении реки Ангаракан, вблизи западного портала Северомуйского тоннеля. Результаты всестороннего анализа данных событий опубликованы в коллективных монографиях [Геология и сейсмичность ..., 1983; Ангараканский рой ..., 1987] и в ряде статей [Мельникова, Мишарина, 1986; Мельникова, 1990].

Таблица 1. Основные данные о локальной сети сейсмических станций в Северомуйском районе (1977–1993 гг.)

Станция	Код	Координаты станции		Период работы		Тип прибора
		φ, °N	λ, °E	начало	конец	
Ангаракан	ANG*	56.363	113.660	01.01.1977	08.08.1981	СКМ-3
Северомуйск	SVK	56.184	113.519	01.01.1977	25.10.1993	СКМ-3
Тоннельный	TNL	56.289	113.354	01.01.1977	30.08.2000	ВЭГИК
Ковокта	KVO	56.137	113.050	06.11.1977	07.10.1993	СКМ-3
Озерная	OZE	56.300	113.975	11.09.1978	18.12.1993	СКМ-3
Оран	ORA	55.925	113.669	06.10.1979	24.10.1993	СКМ-3
Турикан	TRK*	56.387	113.116	12.08.1981	24.10.1993	СКМ-3

Примечание. * – код станции не является международным.

Обработка записей всех землетрясений Северомуйского района, произошедших в рассматриваемый период, осуществлялась в течение 1978–1980 гг. в лаборатории сейсмологии ИЗК СО АН СССР, а с 1981 г. – в группе камеральной обработки Байкальской опытно-методической экспедиции ИЗК СО АН СССР. До настоящего времени её результаты были представлены только в печатном виде. Очевидно, что имеющийся материал имеет большое значение для оценки сейсмической опасности на территории исследования, в связи с чем необходимо его цифровое представление, что и стало целью данной работы.

Подготовка материалов для базы данных

Перевод результатов обработки землетрясений Северомуйского района за 15-летний период наблюдений в цифровой вид был осуществлён в БФ ФИЦ ЕГС РАН и сопровождался пересмотром большого объёма сейсмологической информации. Сканирование с последующим распознаванием текста печатных бюллетеней, к сожалению, оказалось невозможным из-за наличия множества символов, в том числе вписанных от руки (рис. 2). Набор данных осуществлялся вручную в поля программы Microsoft Excel в формате, пригодном для дальнейших расчётов. В процессе работы были устранены некоторые ошибки, допущенные при подготовке печатных версий бюллетеней.

С помощью программы Hypoinvers-2000 [Klein, 2002] была уточнена локализация гипоцентров многочисленных землетрясений. С этой целью использовались данные из бюллетеней (моменты вступлений прямых сейсмических волн Pg и Sg и чёткость их вступлений на сейсмограммах). Сначала для подбора наиболее приемлемой скоростной модели для

расчёта всего массива нами варьировались скорости в однослойной модели с использованием подборки наилучших данных. Такая выборка составила 2120 землетрясений, для которых имелось не менее шести пар фаз прямых Pg - и Sg -волн. Затем средние параметры скоростей, полученные в результате инверсии ($V_p=5.95$ км/с, $V_p/V_s=1.73$), легли в основу расчёта всех землетрясений. В итоге проведённые расчёты показали хорошую локализацию большинства гипоцентров сейсмических событий. Так, для 94% землетрясений среднеквадратичная ошибка определения времени в очаге составила $RMS \leq 0.2$ с, а для 77% среднеквадратичная ошибка определения глубины очага – $ERZ \leq 3$ км. Подобные ошибки отмечены и при начальной обработке землетрясений Ангараканского роя [Ангараканский рой ..., 1987].

Таким образом, в базу данных вошли как исходные сведения, полученные с сейсмограмм, так и результаты современного расчёта локализации землетрясений с помощью программы Hypoinvers-2000. Необходимо отметить, что релокализация землетрясений не выявила существенных различий с результатами предыдущих определений.

Структура и реализация базы данных

База данных сейсмологических наблюдений Северомуйского района, составленная по данным локальной и региональной сетей сейсмических станций Прибайкалья и Забайкалья, содержит полные сведения о землетрясениях района (15832 события с $K_p=4-13$ в пределах территории с координатами $\varphi=55.7-56.6^\circ N$; $\lambda=112.7-114.3^\circ E$), произошедших за период 01.09.1978 г. – 31.10.1993 г. [Хритова, Гилёва, 2024].

-433-

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10
№ 1265 8 октября 0=06ч.37м.31,7с.									
$\varphi=56^{\circ}36'С$ $\lambda=113^{\circ}51'В$ $K=6$									
Анг	10,5	\bar{iP}	06 37 34,2						
		e \bar{S}	37 36,1	0,25		0,33			
Тнд	12,7	e \bar{S}	37 36,5	0,15		0,48			
С-М	19,0	e \bar{S}	37 37,5						
Озн	31,2	e \bar{S}	37 41,4	0,25	0,078				6,2
Звк	37,2	e \bar{S}	37 43,2	0,35	0,112				6,7
Орн	48,2	e \bar{S}	37 45,5	0,15		0,024			5,8
№ 1266 8 октября 0=06ч.41м.36,8с.									
$\varphi=56^{\circ}33'С$ $\lambda=113^{\circ}50'В$ $K=4$									
Анг	10,7	\bar{iP}	06 41 39,3						
		e \bar{S}	41 41,2	0,3	0,032				
Озн	31,0	ee \bar{S}	41 46,8	0,1	0,009				4,3
Звк	35,0	ee \bar{S}	41 49,3	0,4	0,014				4,7
№ 1267 8 октября 0=11ч.06м.58,1с.									
$\varphi=56^{\circ}18'С$ $\lambda=113^{\circ}67'В$ $K=6$									
С-М	9,5	e \bar{S}	11 06 04,2	0,2	0,048				
Анг	18,0	\bar{iP}	06 02,6						
		e \bar{S}	06 06,2	0,35	0,049				4,7
Озн	23,5	\bar{iP}	06 03,4						
		e \bar{S}	06 07,2	0,3		0,104			5,8
Орн	27,5	e \bar{S}	06 08,0	0,2		0,107			5,7
Звк	39,5	e \bar{S}	06 10,7	0,45	0,051				6,2
№ 1268 8 октября 0=17ч.50м.(3 6)с.									
$\varphi=56^{\circ}(0)С$ $\lambda=113^{\circ}(8)В$ $K=5$									
Орн	8,5	e \bar{S}	17 50 40,2	0,2	0,107				
С-М	26,5	e \bar{S}	50 43,3	0,35	0,036				5,1
Озн	37,2	e \bar{S}	50 45,8	0,15		0,02			5,2
Анг	39,7	e \bar{S}	50 47,4	0,35	0,019				5,2
Звк	47,5	e \bar{S}	50 48,2	0,3	0,018				5,5
№ 1269 8 октября 0=19ч.12м.27,1с.									
$\varphi=56^{\circ}33'С$ $\lambda=113^{\circ}51'В$ $K=4$									
Анг	10,5	\bar{iP}	19 12 29,3						
		e \bar{S}	12 31,0	0,25		0,021			
С-М	15,5	e \bar{S}	12 32,2	0,25	0,007				~3,0
Звк	35,5	e \bar{S}	12 37,4	0,2	0,012				4,6

Рис. 2. Страница печатного бюллетеня землетрясений Северомуйского района (1979 г.)

В базе данных содержится следующая информация: 1 – сведения о сейсмостанциях (код станции, географические координаты, высота над уровнем моря, период наблюдения, тип сейсмоприёмника; 2 – рассчитанные параметры землетрясений с ошибками определений (дата, время, географические координаты, глубина гипоцентра, энергетический класс и др.); 3 – результаты станционных обработок для каждого события (код станции, эпицентральное расстояние, азимут); 4 – данные по продольной и поперечной прямым сейсмическим волнам (моменты вступлений волн с весами, характеризующими точность определения момента вступления, невязка, вклад в обработку). Следовательно, в модели данных на логическом уровне можно выделить следующие сущности: «Станция», «Землетрясение»

», «Станционное решение», «Р-волна», «S-волна» (рис. 3). Связь между сущностями обеспечивается с помощью ключевых атрибутов. Например, для соединения сущностей «Землетрясение» и «Станционное решение» используется ключевой атрибут «Код землетрясения». Для соединения объекта «Станционное решение» с сущностями «Р-волна» и «S-волна» используется ключевой атрибут «Код станционного решения».

Модель данных на физическом уровне ориентирована на Систему управления базами данных (СУБД) Firebird [Firebird ..., 2024]. Связи между таблицами также обеспечиваются с помощью дублирования ключевых полей. Например, для связи таблиц «EARTHQUAKE» и «DEFINITIONSTA» используется ключевое поле: «ID_EQ» (рис. 4, табл. 2).

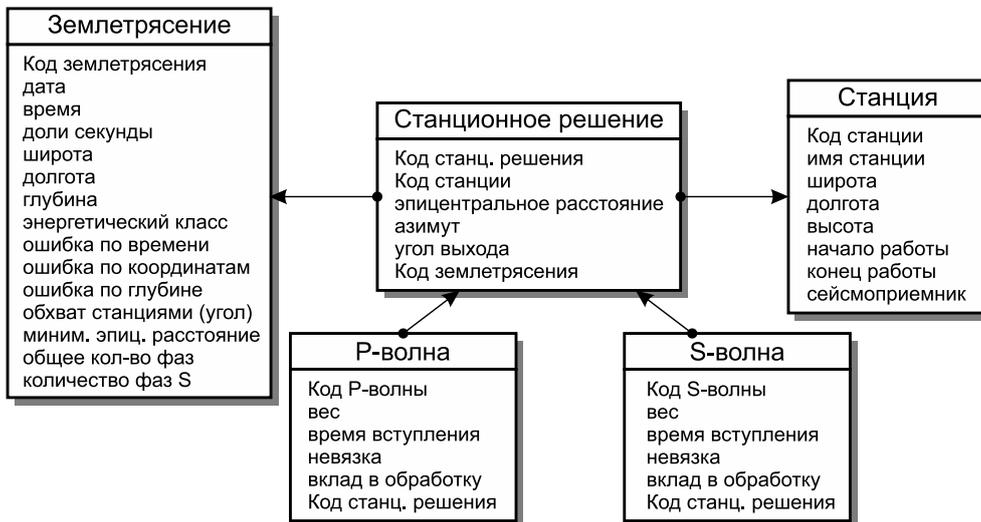


Рис. 3. Логическая модель базы данных

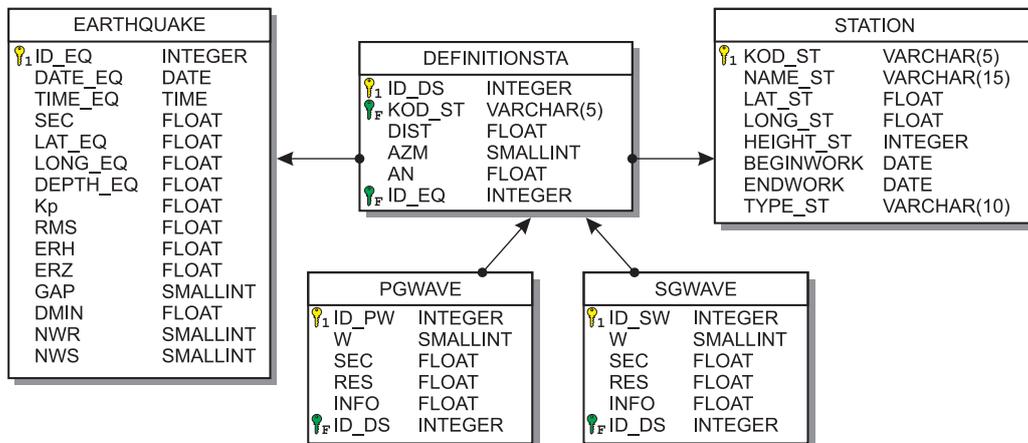


Рис. 4. Модель данных в СУБД Firebird.

Описание таблиц и полей модели приведено в табл. 2. Знаком ключа помечены поля, с помощью которых осуществляется связь между таблицами

Таблица 2. Описание таблиц и полей базы данных сейсмологических наблюдений Северомуйского района по данным аналоговой локальной сети (1978–1993 гг.)
[Хритова, Гилёва, 2024]

Наименование таблицы	Имя поля таблицы	Описание поля таблицы
STATION (станция)	KOD_ST	Код сейсмостанции
	NAME_ST	Наименование сейсмостанции
	LAT_ST	Географические координаты станции в градусах, широта
	LONG_ST	Географические координаты станции в градусах, долгота
	HEIGHT_ST	Высота над уровнем моря в метрах
	BEGINWORK	Начало работы станции
	ENDWORK	Конец работы станции
	TYPE_ST	Тип сейсмоприёмника
EARTHQUAKE (землетрясение)	ID_EQ	Уникальный номер землетрясения, ключевое поле
	DATE_EQ	Дата землетрясения
	TIME_EQ	Время землетрясения
	SEC	Сотые доли секунды времени землетрясения
	LAT_EQ	Географические координаты эпицентра в градусах, широта
	LONG_EQ	Географические координаты эпицентра в градусах, долгота
	DEPTH_EQ	Глубина очага в км
	Kp	Энергетический класс
	RMS	Среднеквадратичная ошибка определения времени в очаге
	ERH	Среднеквадратичная ошибка определения координат
	ERZ	Среднеквадратичная ошибка определения глубины очага
	GAP	Азимутальная брешь в градусах
	DMIN	Минимальное эпицентральное расстояние до станции в км
	NWR	Общее количество фаз, использованных в обработке
NWS	Количество фаз S-волн, использованных в обработке	
DEFINITIONSTA (станционное решение)	ID_DS	Уникальный номер определения по станции
	KOD_ST	Код станции
	DIST	Эпицентральное расстояние
	AZM	Азимут от эпицентра на станцию
	AN	Угол выхода сейсмического луча из гипоцентра на станцию
	ID_EQ	Уникальный номер землетрясения, к которому относится решение
PGWAVE (P-волна)	ID_PW	Уникальный номер фазы P-волны
	W	Вес, характеризующий четкость вступления
	SEC	Разность между временем фазы P и временем в очаге
	RES	Невязка, разность между снятым и рассчитанным временем P-волны
	INFO	Вклад в расчет гипоцентра землетрясения
	ID_DS	Уникальный номер станционного определения, к которому относится P-волна
SGWAVE (S-волна)	ID_PS	Уникальный номер фазы S-волны
	W	Вес, характеризующий четкость вступления
	SEC	Разность между временем фазы S и временем в очаге
	RES	Невязка, разность между снятым и рассчитанным временем S-волны
	INFO	Вклад в расчет гипоцентра землетрясения
	ID_DS	Уникальный номер станционного определения, к которому относится S-волна

Типовые запросы к базе данных реализованы на уровне СУБД в виде хранимых процедур, что позволяет повысить производительность и уровень безопасности работы с данными. Например, разработана процедура поиска бюллетеня по дате и времени землетрясения, то есть вывод определений по всем станциям, участвовавшим в обработке: код станции, эпицентрального расстояние, азимут и угол выхода; вес фазы, время вступления фазы, невязка и вклад в обработку для волн P и S . Реализованы процедуры для составления каталога землетрясений по задаваемым пользователем параметрам: временного интервала, прямоугольного района по географическим координатам или кругового района выборки с указанием центра и радиуса окружности, границ по глубинам событий, диапозона по энергетическому классу. Помимо этого, можно выставить ограничения по ошибкам определения времени, глубины землетрясения и количеству фаз, участвовавших в обработке.

Приложение для работы с базой данных

Для работы с базой данных разработано специальное графическое приложение «SeveromyiskEQ_DB» (рис. 5, 6), позволяющее пользователю реализовать выборки зем-

летрясений по различным вариациям параметров, содержащихся в базе, и формировать отчёты. Например, согласно цели исследования, для получения необходимой информации о землетрясениях задан период наблюдения (01.09.1979–31.10.1993), территория в виде прямоугольника ($\varphi=55.8-56.5^\circ\text{N}$; $\lambda=112.8-114.3^\circ\text{E}$), интервал глубин ($h=5-25$ км), интервал энергетических классов событий ($K_p=5.6-13.0$), ограничена выборка по количеству фаз ($NWR \geq 7$), использованных в обработке, по величине ошибки времени ($RMS \leq 0.2$ с) и по ошибке определения глубины ($ERZ \leq 4$ км). В результате из базы данных отобрано 6078 событий (рис. 5, 6).

Приложение «SeveromyiskEQ_DB» позволяет формировать следующие отчёты.

Отчёт 1. Каталог землетрясений в формате файла электронных таблиц (рис. 7а).

Отчёт 2. Бюллетени землетрясений в формате электронных таблиц (рис. 7б).

Отчёт 3. Экспорт исходных данных о моментах вступлений сейсмических волн в формате программы Nuproinvers с возможностью дальнейшей релокализации с использованием разных скоростных моделей и других программ локализации (рис. 8а).

The screenshot shows the application window titled "БД Землетрясений Северо-Муйского района 1978-1993 гг.". The main window is divided into several sections:

- Search Results Table:** A table with columns: DATE_EQ, TIME_EQ, SEC, LAT_EQ, LONG_EQ, DEPTH_EQ, Kp, RMS, ERH, ERZ, GAP, DMIN, NWR, NWS. The first row is highlighted in blue.
- Search Parameters Panel:** Located on the right, it includes:
 - Time interval: 01.09.1978 to 31.10.1993
 - Geographic coordinates: S. sh. 55.800, 56.500; W. d. 112.800, 114.300
 - Circle limits: S. sh. 56.000, W. d. 113.000, R. km 100
 - Depth interval: 5.0 to 25.0 km
 - Energy interval: 5.6 to 13.0
 - Other filters: NWR >= 7, RMS <= 0.2, ERZ <= 4
- Event Summary:** "Количество событий: 6078".
- Event Details Table:** A table with columns: DATE_EQ, TIME_EQ, SEC, LAT, LONG, DEPTH, Kp, RMS, ERH, ERZ, GAP, DMIN, NWR, NWS. The first row is highlighted in blue.
- Map:** A topographic map showing the study area with station locations marked by letters: TRK, TNL, OZE, KVO, SVK, ORA, UKT, NLYR, BOD, SRK.

Рис. 5. Интерфейс приложения «SeveromyiskEQ_DB», окно «Запросы»

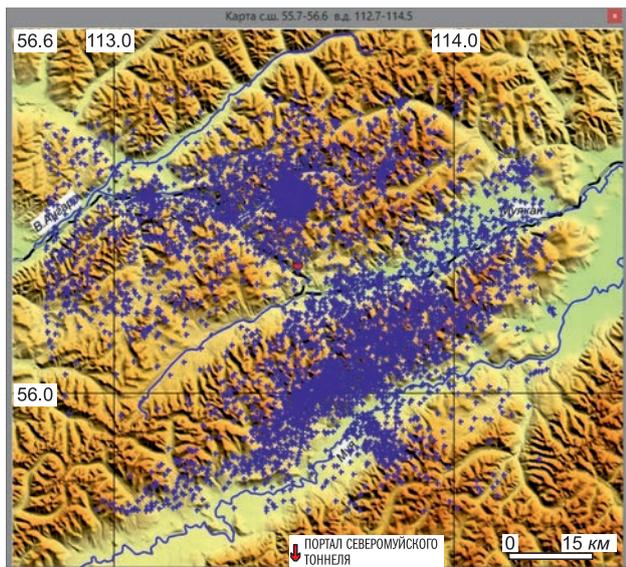


Рис. 6. Интерфейс приложения «SeveromuyiskEQ_DB», окно «Карта» с отображенными землетрясениями согласно параметрам запроса на рис. 5

Отчёт 4. В программе рассчитывается число эпицентров, содержащихся в пределах заданной единичной прямоугольной площадки осреднения (например, $\delta\varphi=0.02^\circ$, $\delta\lambda=0.03^\circ$), и выдаётся файл для дальнейшего построения карты плотности эпицентров с использованием дополнительного программного обеспечения, например, Surfer [Surfer ..., 2024] (рис. 8б).

Отчёт 5. Аналогично предыдущему пункту, рассчитываются средние значения глубин землетрясений в пределах прямоугольных площадок осреднения и выдаётся файл для построения карты средних глубин с помощью ГИС (рис. 9а).

Отчёт 6. По заданным координатам в градусах двух крайних точек линии разреза на поверхности и ширины полосы в км отбираются события, эпицентры которых лежат в пределах полосы, с целью построения разреза, то есть распределения событий по глубине вдоль выбранного профиля (рис. 9б).

Каталог землетрясений Северомуйского района
 Временной интервал: 01.09.1982 - 31.10.1993
 Интервал град. с.ш.: 55.80 - 56.55
 Интервал град. в.д.: 112.90 - 114.10
 Интервал по глубине: 6.0 - 26.0 км.
 Интервал по Кр: 8.5 - 13.0

а

DATE_EQ	TIME_EQ	SEC	LAT_EQ	LONG_EQ	DEPTH_EQ	Кр	RMS	ERH	ERZ	DMIN	NWR	NWS
27.10.1982	4:48:15	0.91	56.042	113.718	23.78	8.5	0.08	0.66	1.61	13	10	5
29.10.1982	15:23:09	0.22	56.249	114.051	25.77	8.5	0.07	0.76	1.38	6.8	12	6
08.11.1982	16:17:32	0.39	56.041	113.637	21.06	10.6	0.08	0.67	1.35	12.3	13	6
06.12.1982	9:59:51	0.80	56.229	114.081	16.44	10.3	0.10	0.85	1.67	9.6	12	5
18.05.1983	14:43:51	0.46	56.247	113.105	11.36	9.1	0.10	0.51	1.56	12.4	13	6
27.11.1983	10:26:51	0.15	56.096	113.863	21.56	8.9	0.09	0.70	1.68	22.5	14	7
04.02.1984	14:59:51	0.25	55.946	113.755	8.21	8.5	0.05	0.62	1.51	6.5	12	5
29.04.1984	12:41:08	0.38	56.040	113.798	19.41	8.5	0.09	0.66	1.14	15.1	13	6
19.05.1984	12:42:38	0.08	55.866	113.318	20.65	9.5	0.06	0.61	1.85	22.2	12	4
14.08.1984	12:47:52	0.91	55.965	113.675	17.05	8.6	0.07	0.72	1.17	4.1	12	4

Выборка землетрясений Северомуйского района
 Временной интервал: 01.09.1982 - 31.10.1993
 Интервал град. с.ш.: 55.80 - 56.55
 Интервал град. в.д.: 112.90 - 114.10
 Интервал по глубине: 6.0 - 26.0 км.
 Интервал по Кр: 8.5 - 13.0

б

DATE_EQ	TIME_EQ	SEC	LAT_EQ	LONG_EQ	DEPTH_EQ	Кр	RMS	ERH	ERZ	GAP	DMIN	NWR	NWS
27.10.1982	4:48:15	0.91	56.042	113.718	23.78	8.5	0.08	0.66	1.61	102	13	10	5
KOD_ST	DIST	AZM	AN	WP	SECP	RESP	INFOP	WS	SECS	RESS	INFOS		
ORA	13.0	198	151	0	20.50	-0.06	0.674	2	24.0	0.05	0.516		
SVK	20.8	324	138	2	21.60	0.28	0.060	3	25.2	-0.07	0.217		
OZE	32.5	29	126	0	22.70	-0.03	0.646	2	27.7	-0.01	0.504		
TNL	35.5	321	123					3	27.8	-0.65	0		
KVO	42.9	285	119	0	24.30	0.05	0.437	2	30.2	-0.14	0.401		
TRK	53.9	314	113	0	25.80	-0.04	0.430	3	33.0	-0.09	0.11		
DATE_EQ	TIME_EQ	SEC	LAT_EQ	LONG_EQ	DEPTH_EQ	Кр	RMS	ERH	ERZ	GAP	DMIN	NWR	NWS
29.10.1982	15:23:09	0.22	56.249	114.051	25.77	8.5	0.07	0.76	1.38	114	6.8	12	6
KOD_ST	DIST	AZM	AN	WP	SECP	RESP	INFOP	WS	SECS	RESS	INFOS		
OZE	6.8	320	165	0	13.80	0.01	0.848	3	16.5	-0.63	0		
SVK	33.5	260	127	0	16.50	0.10	0.175	2	21.6	-0.04	0.379		
ORA	43.1	215	120	0	17.70	-0.02	0.543	2	23.8	-0.13	0.433		
TNL	43.2	276	120					3	23.9	-0.06	0.079		
TRK	61.1	284	112	0	20.30	-0.10	0.488	2	28.6	0.04	0.298		
KVO	63.1	259	112	0	20.80	0.05	0.339	2	29.8	0.63	0		
NLY	105.6	74	103	2	25.40	-2.10	0	3	40.7	-0.15	0.298		
BOD	172.4	0	98	2	37.00	-1.53	0	2	57.4	-2.53	0		
KMO	181.4	258	98					2	61.3	-1.19	0		

Рис. 7. Фрагменты отчётов из базы данных: а – отчёт 1; б – отчёт 2

а					б		
Выборка землетрясений Северомуйского района					Выборка землетрясений Северомуйского района		
Временной интервал: 01.09.1982 - 31.10.1993					Временной интервал: 01.09.1979 - 31.12.1992		
Интервал град. с.ш.: 55.80 - 56.55					Интервал град. с.ш.: 56.0 - 56.4		
Интервал град. в.д.: 112.90 - 114.100					Интервал град. в.д.: 112.9 - 114.0		
Интервал по глубине: 6.0 - 26.0 км.					RMS ≤ 0.2		
Интервал по Кр: 8.5 - 13.0					Ячейка размером: lat=0.02, long=0.03		
NWR ≥ 9					-----		
RMS ≤ 0.1					112.915	56.01	1
ERZ ≤ 3					112.915	56.03	0
ORA	PG0	821027044820.5	24.0	SG2	112.915	56.05	0
SVK	PG2	821027044821.6	25.2	SG3	112.915	56.07	1
OZE	PG0	821027044822.7	27.7	SG2	112.915	56.09	3
TNL		8210270448	27.8	SG3	112.915	56.11	2
KVO	PG0	821027044824.3	30.2	SG2	112.915	56.13	3
TRK	PG0	821027044825.8	33.0	SG3	112.915	56.15	4
OZE	PG0	821029152313.8	16.5	SG3	112.915	56.17	3
SVK	PG0	821029152316.5	21.6	SG2	112.915	56.19	12
ORA	PG0	821029152317.7	23.8	SG2	112.915	56.21	5
TNL		8210291523	23.9	SG3	112.915	56.23	5
TRK	PG0	821029152320.3	28.6	SG2	112.915	56.25	4
KVO	PG0	821029152320.8	29.8	SG2	112.915	56.27	6
NLY	PG2	821029152325.4	40.7	SG3	112.915	56.29	4
BOD	PG2	821029152337.0	57.4	SG2	112.915	56.31	1
KMO		8210291523	61.3	SG2	112.915	56.33	3

Рис. 8. Фрагменты отчётов из базы данных: а – отчёт 3; б – отчёт 4

а			б		
Выборка землетрясений Северомуйского района			Выборка землетрясений Северомуйского района		
Временной интервал: 01.09.1979 - 31.12.1992			Временной интервал: 01.05.1979 - 31.10.1993		
Интервал град. с.ш.: 56.0 - 56.4			Интервал град. с.ш.: 56.0 - 56.5		
Интервал град. в.д.: 112.9 - 114.0			Интервал град. в.д.: 112.8 - 114.1		
RMS ≤ 0.2			RMS ≤ 0.15		
Ячейка размером: lat=0.02, long=0.03			ERZ ≤ 4		
LONG	LAT	DEPTH	Разрез через точку А (56.25;113.00)		
112.915	56.010	3.6	и точку Б (56.37;114.00)		
112.915	56.030		ширина полосы: 17 км.		
112.915	56.050		LAT_EQ	LONG_EQ	DEPTH_EQ
112.915	56.070	14.3	56.318	113.579	3.32
112.915	56.090	20.6	56.294	113.007	10.02
112.915	56.110	17.0	56.307	113.552	7.05
112.915	56.130	17.6	56.333	113.473	5.05
112.915	56.150	14.0	56.314	113.538	9.97
112.915	56.170	12.5	56.324	113.466	7.21
112.915	56.190	16.6	56.302	113.505	9.88
112.915	56.210	19.0	56.309	113.482	10.27
112.915	56.230	17.7	56.257	113.509	11.40
112.915	56.250	20.3	56.352	113.501	4.07
112.915	56.270	23.2	56.328	113.531	9.05
112.915	56.290	20.7	56.263	113.394	18.79
112.915	56.310	19.3	56.230	113.344	14.63
112.915	56.330	14.2	56.310	113.526	9.38
112.915	56.350	22.8	56.297	113.538	8.20

Рис. 9. Фрагменты отчётов из базы данных: а – отчёт 5; б – отчёт 6

Обсуждение

Оцифровка большого объёма сейсмологической информации (около 16 тыс. землетрясений), полученной в период работы локальной сети станций (1978–1993 гг.) в Северомуйском районе, осуществлённая в БФ ФИЦ ЕГС РАН, направлена на сохранение ценных материалов, способствующих лучшему пониманию сеймотектонических особенностей одного из наиболее активных районов БРЗ. Необходимость таких действий обусловлена, прежде всего, обеспечением сейсмической безопасности ответственного участка БАМ, в пределах которого находится стратегически важный протяжённый Северомуйский тоннель.

Создание базы данных [Хритова, Гилёва, 2024] обеспечивает возможность использования имеющегося материала в различных, в том числе и в детальных сейсмологических исследованиях. Проиллюстрируем это на следующих примерах. Так, на рис. 10 показан график повторяемости землетрясений, построенный на основе выборки из базы данных количества землетрясений разных энергетических классов K_p (см. интерфейс приложения «SeveromyiskEQ_DB», рис. 5) для рассматриваемого периода наблюдений. Очевидно, что в этот период, по сравнению с аналогичными графиками других временных интервалов, резко возросло количество регистрируемых слабых землетрясений. Это позволило улучшить представительность сейсмических событий до $K_p \geq 7$ (в другие годы представительными были события с $K_p \geq 8$) и точность локализации гипоцентров (для 77% землетрясений ошибки по глубине не превысили 3 км). Вместе с тем, значения коэффициентов графиков повторяемости землетрясений, рассчитанные для разных периодов наблюдений, были близки (рис. 10).

Обращение к отчётам 4 и 5 из базы данных позволяет изобразить последовательные карты плотности эпицентров и средних значений глубин землетрясений (рис. 11).

Данная информация позволяет проследить пространственно-временное развитие сейсмического процесса и выделить его особенности. В частности, на картах плотности эпицентров в разное время отчётливо проявлены четыре кластера с повышенной плотностью сейсмических толчков (Ангараканский, Туриканский, Оранский и восточнее станции «Ангаракан»). Распределение по глубинам гипоцентров исследуемых событий показывает их явное различие. Гипоцентры событий Ангараканского роя, к примеру, имеют малые глубины, в то время

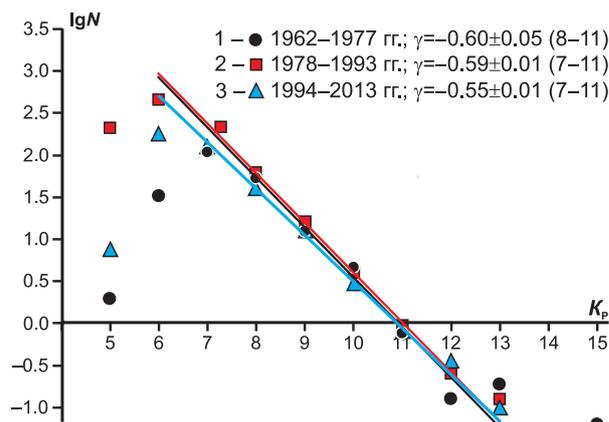


Рис. 10. Графики повторяемости землетрясений различных энергетических классов K_p Северомуйского района для трёх периодов наблюдений:

- 1 — 1962–1977 гг. (до установки локальной сети);
- 2 — 1978–1993 гг. (период работы локальной сети);
- 3 — 1994–2013 гг. (10 лет с момента закрытия локальной сети). Данные нормированы на год в пределах каждого периода

как землетрясения, локализованные в пределах Муяканского хребта, заглублены (рис. 11).

Запрос к базе данных в виде отчёта 1 (в данном случае используется выбор в круге заданного радиуса с указанием его центра) позволяет получить сведения об общем числе землетрясений в активных кластерах района и их распределении во времени (рис. 12).

Возможности отчёта 6 из базы данных иллюстрируются рис. 13, где показаны эпицентральные поля землетрясений и разрезы по глубине этих событий для трёх сейсмоактивных областей с заданными размерами. В данном случае выборка землетрясений осуществлялась при условиях: энергетический класс $K_p \geq 5.0$; среднеквадратичная ошибка определения времени в очаге $RMS \leq 0.15$ с; среднеквадратичная ошибка определения глубины очага $ERZ \leq 4$ км.

Полученные результаты расчётов дают наглядное представление о глубинах разных кластеров землетрясений и, в целом, о глубинах землетрясений всего Северомуйского района. Становится очевидным, что при толщине коры 40–42 км [Зорин, 1971], наибольшей сейсмической активностью характеризуется её средняя часть (5–25 км), при этом максимумы распределений глубин разных кластеров могут отличаться на 15 км (например, Ангараканский и Туриканский рои) (рис. 11, 13).

Выводы

В результате работы по переводу ценной сейсмологической информации в цифровой вид,

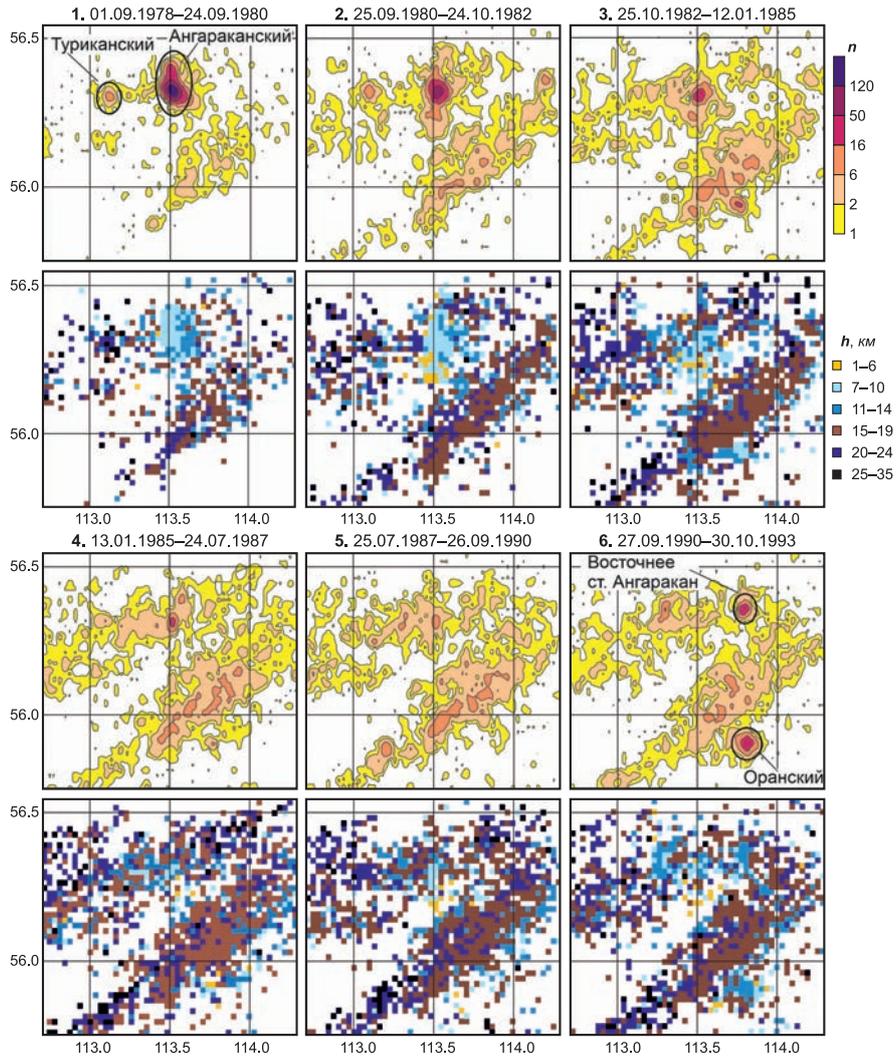


Рис. 11. Карты плотности эпицентров и соответствующие им схемы средних величин глубин очагов землетрясений в ячейках 2×2 км для шести последовательных периодов наблюдений.

Эллипсами выделены наиболее значимые кластеры на картах плотности эпицентров того периода, где кластер появился

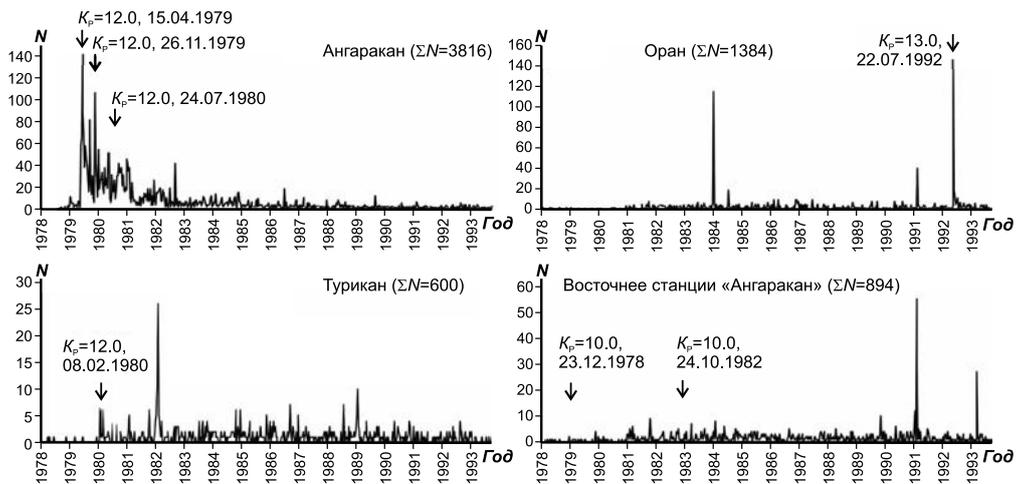


Рис. 12. Распределение по времени числа землетрясений в районах наиболее значимых кластеров в период действия локальной сети.

Единичный интервал – 10 суток. Стрелками указаны моменты наиболее сильных землетрясений в соответствующих районах

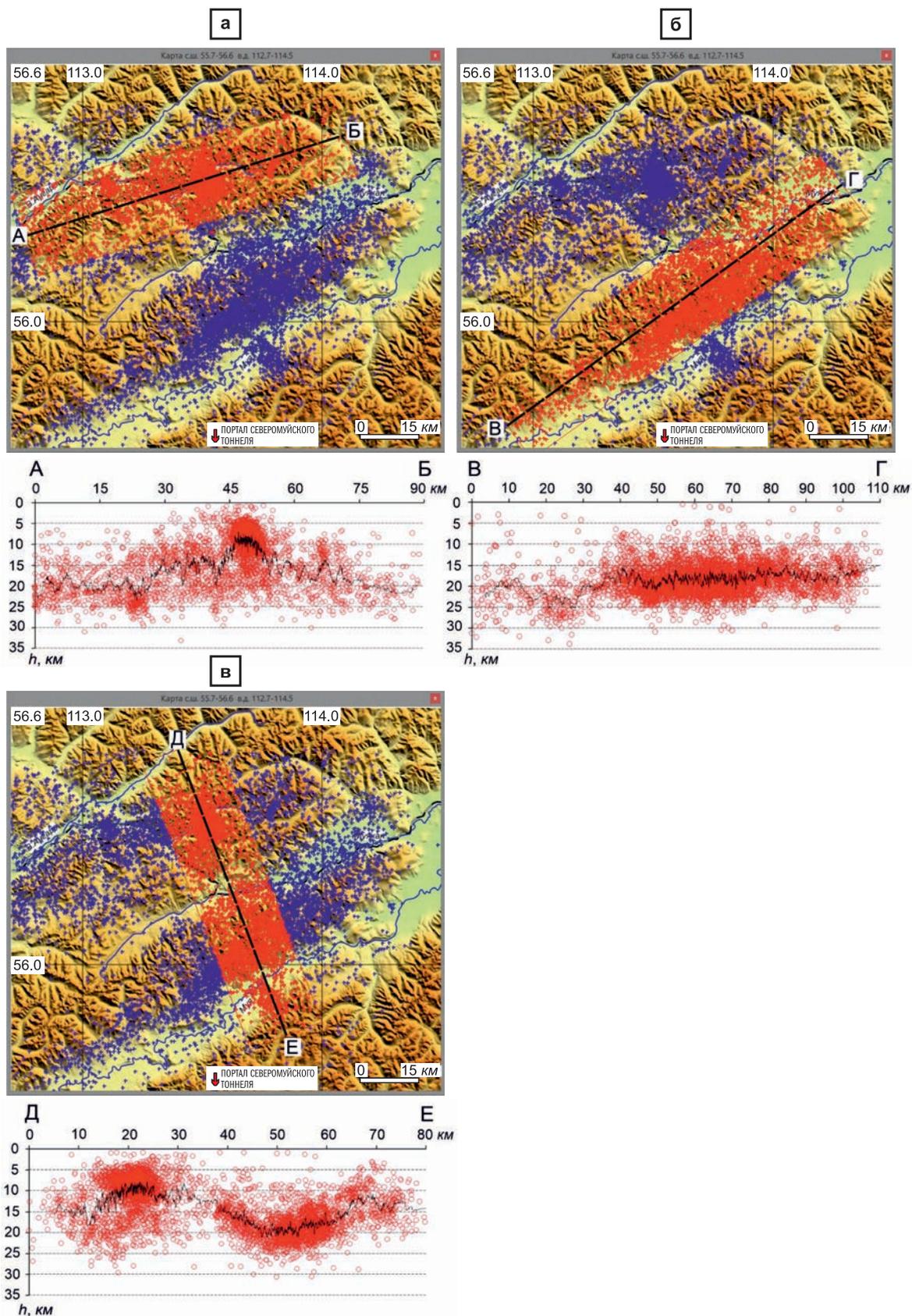


Рис. 13. Эпицентральное поле землетрясений Северомуйского района и разрезы по глубине для землетрясений трёх выделенных областей вдоль профилей: а – в направлении Северо-Муйского хребта (АБ); б – в направлении Муюканского хребта (ВГ); в – поперёк основных рифтовых структур (ДЕ).

На графиках разрезов показаны линии трендов (чёрным цветом) с линейной фильтрацией по 20 точкам

выполненной в БФ ФИЦ ЕГС РАН для территории Северомуйского района, создана электронная база данных, охватывающая период наблюдений локальной сетью сейсмических станций (1978–1993 гг.). База содержит сведения об условиях регистрации 15832 землетрясений с $K_p=4-13$ и полные данные, включающие результаты станционных обработок для каждого из них и вычисленные параметры сейсмических событий с ошибками их определений.

Разработанная база данных обеспечивает реляционный подход к хранению и управлению большими объемами данных, позволяя структурировать их согласно поставленным научным задачам. Решение последних осуществляется с помощью специального клиентского приложения «SeveromyiskEQ_DB», направленного на реализацию выборок землетрясений по различным вариациям параметров, содержащихся в базе данных. Конкретные запросы могут быть представлены в виде таблиц и графического изображения (примеры приведены в тексте).

Необходимо отметить, что, несмотря на использование аналоговой аппаратуры при работе локальной сети станций в Северомуйском районе БРЗ, возможности регистрации землетрясений в этот период практически не уступали таковым на современном этапе цифровой регистрации землетрясений, а по ряду параметров превосходили их. Таким образом, становится очевидным, что создание уникального набора цифровых данных по результатам работы локальной сети станций в рассматриваемом районе не утратило актуальность и в настоящее время.

Благодарности. Авторы выражают глубокую благодарность Масальской Лидии Николаевне и Пеньковой Надежде Степановне за тщательную и кропотливую работу по набору данных с бюллетеней, Радзиминовичу Яну Борисовичу – за ценные замечания и рекомендации при подготовке этой статьи.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00682-24) и с использованием данных, полученных на уникальной научной установке «Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира» (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

Литература

Ангараканский рой землетрясений в Байкальской рифтовой зоне (условия возникновения и особен-

ности развития) / Отв. ред. О.В. Павлов. – Новосибирск: Наука, 1987. – 81 с. – EDN: TBOICP

Геология и сейсмичность зоны БАМ. Неотектоника / Отв. ред. Н.А. Логачев. – Новосибирск: Наука, 1984. – 208 с.

Геология и сейсмичность зоны БАМ. Сейсмогеология и сейсмическое районирование / Отв. ред. В.П. Солоненко, М.М. Мандельбаум. – Новосибирск: Наука, 1985а. – 190 с.

Геология и сейсмичность зоны БАМ. Сейсмичность / Отв. ред. С.Л. Соловьёв. – Новосибирск: Наука, 1985б. – 192 с. – EDN: TBOIAR

Геология и сейсмичность зоны БАМ. Структурно-вещественные комплексы и тектоника / Отв. ред. М.М. Мандельбаум. – Новосибирск: Наука, 1983. – 189 с.

Зорин Ю.А. Новейшая структура и изостазия Байкальской рифтовой зоны и сопредельных территорий. – М.: Наука, 1971. – 167 с.

Мельникова В.И., Мишарина Л.А. Некоторые закономерности развития Ангараканского роя землетрясений в Северо-Муйском районе Байкальской рифтовой зоны // Геология и геофизика. – 1986. – № 12. – С. 68–75.

Мельникова В.И. Особенности излучения сейсмических волн при землетрясениях Ангараканского роя в Северо-Муйском районе Байкальской рифтовой зоны // Геология и геофизика. – 1990. – № 11. – С. 98–106.

Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времён до 1975 г. / Отв. ред. Н.В. Кондорская, Н.В. Шебалин. – М.: Наука, 1977. – 536 с.

Разломы и сейсмичность Северо-Муйского геодинамического полигона / Отв. ред. С.И. Шерман. – Новосибирск: Наука, 1991. – 111 с.

Сеймотектоника, глубинное строение и сейсмичность северо-востока Байкальской рифтовой зоны / Отв. ред. В.П. Солоненко. – Новосибирск: Наука, 1974. – 104 с.

Старовойт О.Е., Мишаткин В.Н. Сейсмические станции Российской академии наук (состояние на 2001 г.). – Москва–Обнинск: ГС РАН, 2001. – 86 с.

Хритова М.А., Гилёва Н.А. База данных сейсмологических наблюдений Северомуйского района по данным аналоговой локальной сети (1978–1993 гг.) / Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2024623011 от 10.07.2024 г. – EDN: DEXIXA

Chipizubov A.V., Smekalin O.P., Semenov R.M., Itayev V.S. Paleoseismicity of the Pribaikalie // Seismic Instruments. – 2010. – V. 46, Is. 2. – P. 136–151. – DOI: 10.3103/S0747923910020040

Firebird 3. Quick Start Guide // Firebird [Site]. – URL: <https://www.firebirdsql.org/file/documentation/html/en/firebirddocs/qsg3/firebird-3-quickstartguide.html> (дата обращения 08.08.2024).

Klein F.W. User's guide to HYPOINVERSE-2000, a Fortran program to solve for earthquake locations and

magnitudes. USGS Open-File Report 02-171. – Menlo Park CA: US Geological Survey, 2002. – 123 p. – DOI: 10.3133/ofr02171

Surfer. Quick Start Guide // Golden Software [Site]. – URL: <https://downloads.goldensoftware.com/guides/SurferQSG.pdf> (дата обращения 08.08.2024).

Сведения об авторах

Гилёва Надежда Алексеевна, нач. отдела Байкальского филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук» (БФ ФИЦ ЕГС РАН), г. Иркутск, Россия. E-mail: nagileva@crust.irk.ru

Хритова Мария Анатольевна, канд. техн. наук, нач. сектора БФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Иркутск, Россия. E-mail: hritova@crust.irk.ru

Мельникова Валентина Ивановна, д-р геол.-мин. наук, гл. науч. сотр. Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института земной коры Сибирского отделения Российской академии наук (ИЗК СО РАН); инженер БФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Иркутск, Россия. E-mail: vimel@crust.irk.ru

Database of seismological observations in the Severomuysky region of the Baikal rift during the operation of the local network of stations (1978–1993)

© 2024 N.A. Gileva¹, M.A. Khritova¹, V.I. Melnikova^{1,2}

¹BB GS RAS, Irkutsk, Russia; ²IEC SB RAS, Irkutsk, Russia

Received August 19, 2024

Abstract The Severomuysky region should be considered as one of the key areas of the northeastern flank of the Baikal rift zone. The most important infrastructure facilities of the Baikal-Amur Mainline, in particular the Severomuysky tunnel, require an objective assessment of the seismic hazard of this territory. The work on converting a unique set of seismological data obtained during the period of operation of the analog local network of seismic stations (1978-1993) into digital format was carried out at the BB GS RAS in order to ensure the safety of all primary seismological observation materials and comprehensive analysis. This information was presented in printed form only. A database has been developed. It provides a relational approach to storing and managing large volumes of data. The database contains complete information on 15,832 earthquakes with $K_p=4-13$ (station information, catalogues, bulletins, etc.). A client application has been created for convenient work with the database. The article illustrates examples of working with a database when solving typical seismological problems. It is obvious that extensive seismological information presented in digital form is of great importance for assessment of seismic hazard of the study under region.

Keywords Earthquakes, database, Severomuysky tunnel, Baikal rift zone.

For citation Gileva, N.A., Khritova, M.A., & Melnikova, V.I. (2024). [Database of seismological observations in the Severomuysky region of the Baikal rift during the operation of the local network of stations (1978-1993)]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Seismology], 6(4), 24-38. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2024.4.02>. EDN: REMXHJ

References

- Chipizubov, A.V., Smekalin, O.P., Semenov, R.M., & Imaev, V.S. (2010). Paleoseismicity of the Pribaikalie. *Seismic Instruments*, 46(2), 136-151. DOI: 10.3103/S0747923910020040
- Firebird. (2024). *Firebird 3. Quick Start Guide*. Retrieved from <https://www.firebirdsql.org/file/documentation/html/en/firebirddocs/qsg3/firebird-3-quickstartguide.html>
- Golden Software. (2024). *Surfer. Quick Start Guide*. Available at: <https://downloads.goldensoftware.com/guides/SurferQSG.pdf>
- Khritova, M.A., & Gileva, N.A. (2024). [Database of seismological observations of the Severomuysky district based on data from an analog local network (1978-1993)]. Certificate RF of state registration of database No. 2024623011. (In Russ.). EDN: DEXIXA
- Klein, F.W. (2002). *User's guide to HYPOINVERSE-2000, a Fortran program to solve for earthquake locations and magnitudes. Open-File Report 02-171*. Menlo Park CA: USGS, 123 p. DOI: 10.3133/ofr02171
- Kondorskaya, N.V., & Shebalin, N.V. (Eds.). (1977). *Novyi katalog sil'nykh zemletriasenii na territorii SSSR s drevneishikh vremen do 1975 g.* [New catalog of strong earthquakes on the territory of the USSR from ancient times to 1975]. Moscow, Russia: Nauka Publ., 536 p. (In Russ.).
- Logachev, N.A. (Ed.). (1984). *Geologiya i seismichnost' zony BAM. Neotektonika* [Geology and seismicity of the BAM zone. Neotectonics]. Novosibirsk, Russia: Nauka Publ., 208 p. (In Russ.).
- Mandel'baum, M.M. (Ed.). (1983). *Geologiya i seismichnost' zony BAM. Strukturno-veshchestvennye komplek-sy i tektonika* [Geology and seismicity of the BAM zone. Structural-material complexes and tectonics]. Novosibirsk, Russia: Nauka Publ., 189 p. (In Russ.).
- Mel'nikova, V.I. (1990). [Features of seismic wave radiation during earthquakes of the Angarakan swarm in the Severo-Muya region of the Baikal rift zone]. *Geologiya i geofizika* [Geology and Geophysics], 11, 98-106. (In Russ.).
- Mel'nikova, V.I., & Misharina, L.A. (1986). [Some patterns of development of the Angarakan earthquake swarm in the Severo-Muya region of the Baikal rift zone]. *Geologiya i geofizika* [Geology and Geophysics], 12, 68-75. (In Russ.).
- Pavlov, O.V. (Ed.). (1987). *Angarakanskii roi zemle-triasenii v Baikal'skoi riftovoi zone (usloviia vozniknoveniia i osobennosti razvitiia)* [Angarakan earthquake swarm in the Baikal rift zone (conditions of occurrence and development features)]. Novosibirsk, Russia: Nauka Publ., 81 p. (In Russ.). EDN: TBOICP
- Sherman, S.I. (Ed.). (1991). *Razlomy i seismichnost' Severo-Muiskogo geodinamicheskogo poligona* [Faults and seismicity of the Severo-Muya geodynamic polygon]. Novosibirsk, Russia: Nauka Publ., 111 p. (In Russ.).
- Solonenko, V.P. (Ed.). (1974). *Seismotektonika, glubinnoe stroenie i seismichnost' severo-vostoka Baikal'skoi riftovoi zony* [Seismotectonics, deep structure and seismicity of the northeast of the Baikal rift zone]. Novosibirsk, Russia: Nauka Publ., 104 p. (In Russ.).
- Solonenko, V.P., & Mandel'baum, M.M. (Eds.). (1985). *Geologiya i seismichnost' zony BAM. Seismogeologiya i seismicheskoe rajonirovanie* [Geology and seismicity of the BAM zone. Seismogeology and seismic zoning]. Novosibirsk, Russia: Nauka Publ., 190 p. (In Russ.).
- Solov'ev, S.L. (Ed.). (1985). *Geologiya i seismichnost' zony BAM. Seismichnost'* [Geology and seismicity of the BAM zone. Seismicity]. Novosibirsk, Russia: Nauka Publ., 192 p. (In Russ.). EDN: TBOIAR
- Starovoit, O.E., & Mishatkin, V.N. (2001). *Seismicheskie stantsii Rossiiskoi akademii nauk (sostoianie na 2001 g.)* [Seismic stations of the Russian Academy of Sciences (status as of 2001)]. Moscow-Obninsk, Russia: GS RAS Publ., 86 p. (In Russ.).
- Zorin, Yu.A. (1971). *Noveishaia struktura i izostaziia Baikal'skoi riftovoi zony i sopredel'nykh territorii* [The newest structure and isostasy of the Baikal rift zone and adjacent territories]. Moscow, Russia: Nauka Publ., 167 p. (In Russ.).

Information about authors

Gileva Nadezhda Alekseevna, Head of Department of the Baikal Branch of the Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences (BB GS RAS), Irkutsk, Russia. E-mail: nagileva@crust.irk.ru

Khritova Mariya Anatolyevna, PhD, Head of Sector of the BB GS RAS, Irkutsk, Russia. E-mail: hritova@crust.irk.ru

Melnikova Valentina Ivanovna, Dr., Chief Researcher of the Institute of the Earth's Crust of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (IEC SB RAS); Engineer of the BB GS RAS, Irkutsk, Russia. E-mail: vimel@crust.irk.ru