

## АНАЛИЗ РЕГИСТРАЦИОННЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СЕЙСМИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ АРХАНГЕЛЬСКОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ СЕТИ

Проведена оценка чувствительности сейсмических станций на основе данных о землетрясениях мира, зарегистрированных в течение четырёх лет эксплуатации Архангельской сейсмической сети. Выявлено пространственное распределение чувствительности при регистрации землетрясений для разных диапазонов эпицентральных расстояний и азимутов, уточнены данные о технических параметрах регистрации сейсмических станций.

**Ключевые слова:** сеть сейсмических станций; чувствительность; землетрясения.

### Введение

Известно, что инструментальная оснащённость зарубежных Фенноскандинавских сетей чрезвычайно высока, их количественное соотношение с Российскими, функционирующими на Европейском Севере России, показывает недостаточную обеспеченность сейсмологических исследований качественным материалом. Наряду с этим нарастание в последнее время техногенных воздействий на геодинамику геологической среды увеличивает сейсмический риск на территории Архангельской области, насыщенной огромным количеством экологически опасных объектов, таких как крупные промышленные объекты: судоремонтные заводы, целлюлозно-бумажные и лесоперерабатывающие комбинаты; промышленные карьеры; нефте- и газопроводы; космодром “Плесецк”; ядерный полигон на о. Новая Земля, что требует создания систем сейсмического контроля техногенных процессов и проведения на их основе сейсмомониторинга территории региона [1, 2].

Проблема сейсмического контроля включает в себя несколько частных задач, из которых первоочередной является регистрация сейсмических событий. При этом предъявляются специфические требования к аппаратуре, организации сети станций, методике обработки данных. При организации сети наблюдений важно оценить эффективность регистрации сейсмических событий, зависящую как от мест установки станций (геологических условий под станциями) и конфигурации сети относительно регистрируемых событий, так и от наличия (интенсивности) микросейсмического фона, рассматриваемого как помеха, что, в конечном счете, отражается на качестве записи и возможности её интерпретации.

Проблема разработки теоретических и методических основ оценки чувствительности пунктов регистрации сейсмических событий (магнитудой ( $m$ )) оценивается энергия этих событий) возникла в 60-е и была решена в 80-е годы прошлого столетия в связи с необходимостью идентификации ядерных взрывов сейсмическими методами [3].

Эта технология использована нами для оценки регистрационных возможностей сей-

смических станций, входящих в Архангельскую сейсмическую сеть.

### Метод оценки чувствительности сейсмических станций

Суть метода [3] заключается в следующем: Пусть из  $n$  сигналов, относящихся к заданной эпицентральной зоне или интервалу расстояний  $\Delta + \delta\Delta$  и порожденных источниками с магнитудой  $m + \delta m$ , сейсмическая станция зарегистрировала  $n_1$  сигналов, тогда отношением  $P = n_1 / n$  будем характеризовать вероятность обнаружения сигналов для заданных интервалов расстояний и магнитуды. Кривые зависимости вероятности обнаружения сигналов от их энергии называются кривыми обнаружения. Значение магнитуды  $m = m_{0,5}$ , при которой вероятность обнаружения сигнала в заданных условиях равна  $P = 0,5$ , назовем магнитудой чувствительностью:  $P(m_{0,5}) = 0,5$ .

Экспериментально определив значение  $m_{0,5}$  для различных эпицентральных расстояний, можно построить кривую чувствительности  $m_{0,5} = m_{0,5}(\Delta)$ . Кроме того, имеется возможность оценить магнитудную чувствительность пункта регистрации для заданных значений  $Az$ , т.е. рассчитать кривую чувствительности вида  $m_{0,5} = m_{0,5}(\Delta, Az)$ , где  $Az$  – азимут подхода сейсмических волн к регистрирующей станции. На основании кривых чувствительности и обнаружения можно оценить вероятность обнаружения сигнала для заданных  $m$ ,  $\Delta$  и  $Az$ .

В результате исследований, проведенных авторами [3], для кривой обнаружения сейсмических сигналов была получена описывающая её функция, учитывающая основные факторы, определяющие вероятность обнаружения сейсмических сигналов на фоне помех:

$$P(m, \Delta) = \Phi \left[ \frac{m - m_{0,5}}{\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + \sigma_4^2 + \sigma_5^2 + \sigma_6^2 + \sigma_7^2 + \sigma_8^2}} \right]$$

где  $\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z \exp(-\frac{x^2}{2}) dx$  – функция

Лапласа.

Коэффициенты  $\sigma_i$  для каждой станции находятся экспериментально и характеризуют изменчивость обнаружения сигнала в зависимости от специфических особенностей пункта регистрации. Например, быстрые и медленные вариации амплитуды микросейсм, случайный характер разности фаз колебаний микросейсм и

сигнала, случайную составляющую магнитудных оценок для фиксированной пары станция – эпицентральная зона, среднеквадратичное отклонение периодов сейсмических сигналов и т.д.

Ниже представлены результаты расчета кривой чувствительности и функции обнаружения для сейсмических станций (с/ст.) Архангельской сети наблюдений: “Климовская” (KLM), “Пермогорье” (PRG), “Тамица” (TMC) и “Архангельск” (ARH) (рис. 1).

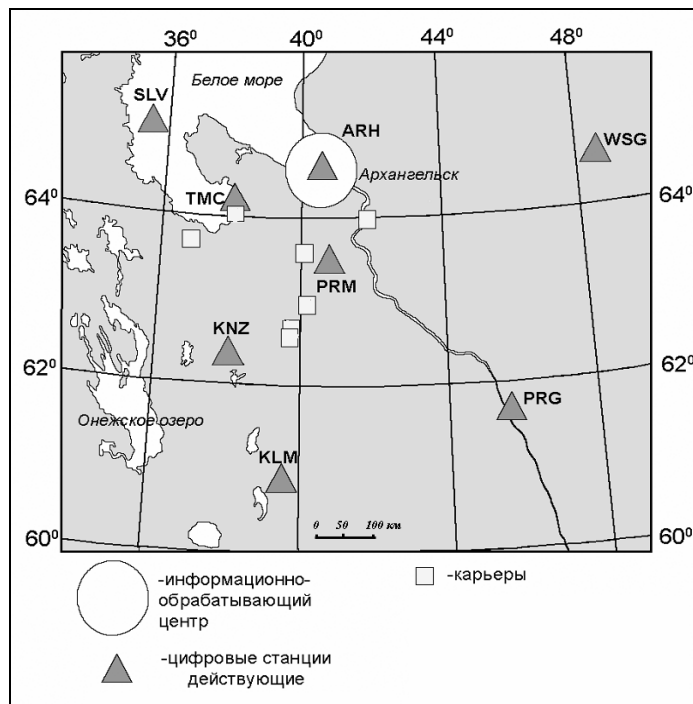


Рис. 1. Карта расположения сейсмических станций Архангельской сети

**Оценка регистрационных возможностей сейсмических станций Архангельской сети**

Расчет для каждой сейсмической станции кривой чувствительности производился с использованием каталога, зарегистрированных на станциях землетрясений за 4 года наблюдений, во-первых, чтобы иметь достаточно представительный объем исходных данных, и, во-вторых, чтобы средний уровень помех за период наблюдений с равным весом отражал все сезоны года. При этом отсеивались землетрясения с глубиной более 70 км, чтобы избежать поправок за учет глубины. Затем для нахождения величины магнитуды  $m_{0,5}$  с шагом 200 км станционный каталог сравнивался с каталогом Геофизической службы РАН и строились кривые чувствительности (рис. 2).

Согласно графикам рис. 2 значения магнитуд  $m_{0,5}$  для  $\Delta_1 = 800-3000$  км и  $\Delta_2 > 9000$  км равны соответственно на с/ст. “Климовская” – 3,7–4,25, 5,0–5,9; на с/ст. “Пермогорье” – 3,7–4,1,

4,9–5,8; с/ст. “Тамица” – 4,2–4,8, 5,4–6,0; на с/ст. “Архангельск” – 4,9, 5,4–6,1. Для значений  $\Delta = 8000-9000$  км  $m_{0,5}$  определяется, соответственно, величинами для с/ст. “Климовская”  $m_{0,5} = 4,8-5,2$ ; “Пермогорье” – 4,9–5,6; “Тамица” – 5,2–5,8. Максимальная чувствительность отмечается для с/ст. “Климовская” и “Пермогорье” на региональных расстояниях ( $\Delta \leq 2000$  км) в пределах значений 3,7–4,0, т.е. в этом диапазоне эпицентральных расстояний магнитудная представительность этих станций равна 4,0, что отмечалось ранее [4, 5]. Площадное распределение чувствительности для с/ст. “Климовская”, “Пермогорье”, “Тамица” и “Архангельск”, рассчитанное по формуле  $m_{0,5} = m_{0,5}(\Delta, Az)$  с шагом 20° дано на картах рис. 3.

Анализ карт помогает получить представление о возможностях регистрации конкретной

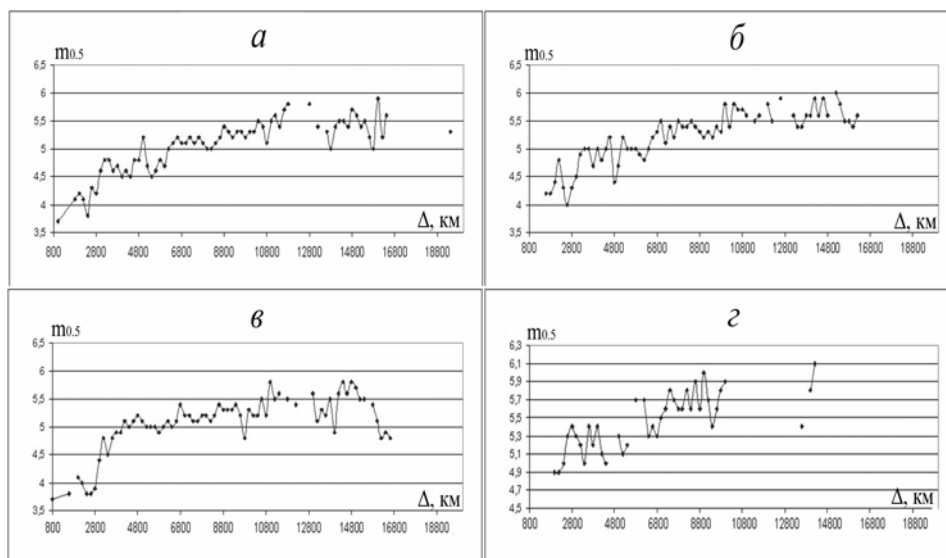


Рис. 2. Кривые чувствительности построенные для сейсмических станций: а – KLM; б – TMC; в – PRG, г – ARH

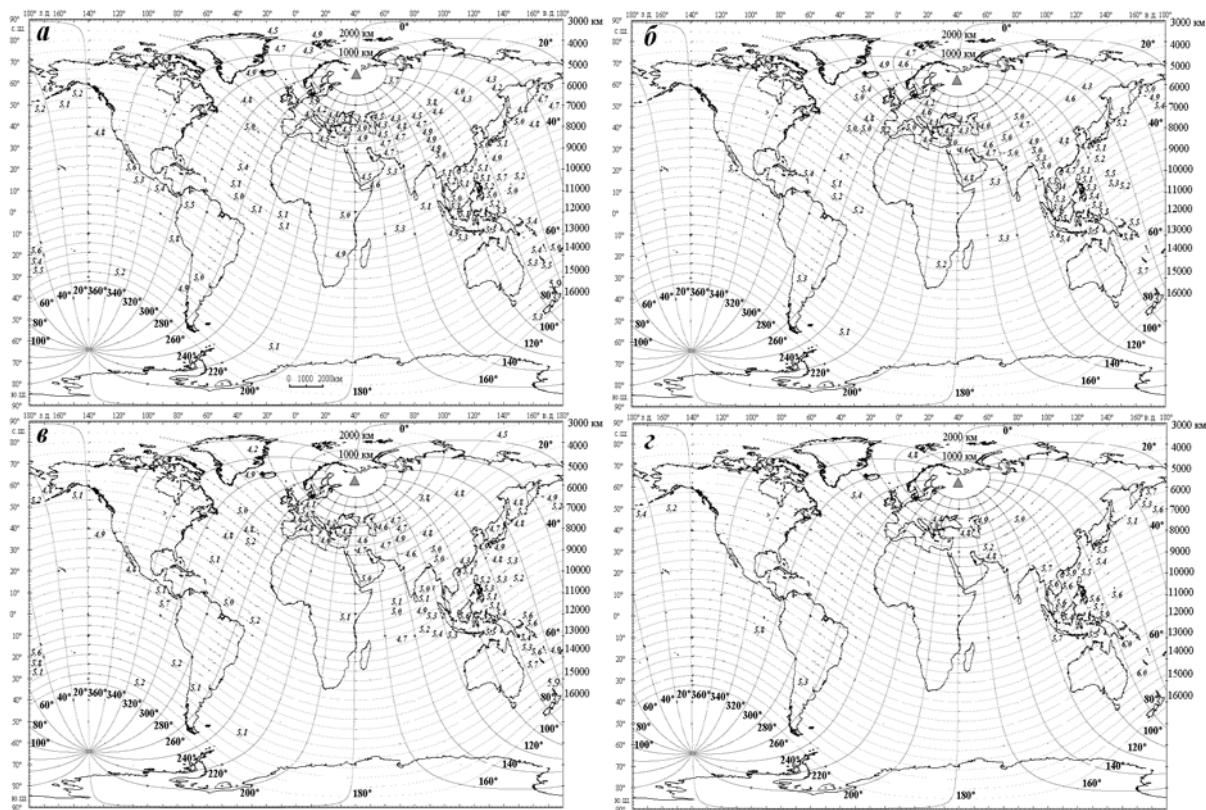


Рис. 3. Карта распределения функции  $m_{0,5} = m_{0,5}(\Delta, Az)$  в зависимости от эпицентрального расстояния и азимута подхода сейсмических волн для сейсмических станций: а – KLM; б – TMC; в – PRG, г – ARH

станцией землетрясений из разных эпицентральных зон. Отметим следующие закономерности в распределении чувствительности  $m_{0,5}(\Delta, Az)$ :

- значения функции плавно возрастают с

увеличением  $\Delta$  в пределах всего рассматриваемого диапазона  $Az$  (0–360°), однако, их величины для всех станций меньше в пределах азимутального створа 0°–180°, т.е. минимальный порог магнитуд, с которого все станции регистрируют землетрясения из эпицентральных-

ных зон, находящихся восточнее станций Архангельской сети, на 0,6-0,7 единиц меньше, чем для зон, находящихся западнее сети;

- наименьшие значения  $m_{0,5}(\Delta, Az)$  отмечаются для с/ст. “Климовская”, особенно в азимутальном створе  $Az = 0-180^\circ$ , где чувствительность станции определяется минимальными значениями магнитуды 3,7-4,0;

- всеми станциями наилучшим образом регистрируются землетрясения с  $m = 5,0$  практически во всем диапазоне эпицентральных расстояний ( $\Delta = 3000-17000$  км); однако в пределах региональных расстояний ( $\Delta < 3000$  км) часто регистрируются сейсмические события с  $m = 4,0$ ;

- для землетрясений из эпицентральных зон, находящихся западнее сети ( $Az = 180-360^\circ$ ), наблюдаются случаи повышения уровня чувствительности, что может свидетельствовать о наличии каналов, благоприятных для распространения сейсмических волн. Например, для с/ст. “Климовская” таких каналов два: на  $\Delta = 8000-9000$  и  $13000-15000$  км; для с/ст. “Пермогорье” они наблюдаются на  $\Delta = 9000-$

10000 км и 13000–17000 км.

Следующим шагом для оценки регистрационной представительности сейсмических станций было найти для каждой станции свою функцию обнаружения. Оценка коэффициентов  $\sigma_i$  позволила получить для каждой станции следующий вид функции обнаружения:

$$\text{с/ст. “Климовская”} - P(m, \Delta) = \Phi\left(\frac{m - m_{0,5}}{0.368}\right);$$

$$\text{с/ст. “Пермогорье”} - P(m, \Delta) = \Phi\left(\frac{m - m_{0,5}}{0.371}\right);$$

с/ст. “Архангельск” –

$$P(m, \Delta) = \Phi\left(\frac{m - m_{0,5}}{0.372}\right);$$

$$\text{с/ст. “Тамица”} - P(m, \Delta) = \Phi\left(\frac{m - m_{0,5}}{0.407}\right).$$

По полученным зависимостям были построены для каждой станции таблицы вероятности регистрации события в зависимости от эпицентрального расстояния, урезанный пример такой таблицы представлен ниже.

Значения вероятности регистрации сейсмических событий станцией “Климовская” в зависимости от эпицентрального расстояния и магнитуды

$m \setminus \Delta$ (км)	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000
3	0,015	0,000	0,001	0,003	0,015	0,015	0,007	0,000
3,1	0,029	0,000	0,003	0,007	0,029	0,029	0,015	0,000
3,2	0,052	0,000	0,007	0,015	0,052	0,052	0,029	0,001
3,3	0,087	0,000	0,015	0,029	0,087	0,087	0,052	0,001
3,4	0,139	0,000	0,029	0,052	0,139	0,139	0,087	0,003
3,5	0,207	0,000	0,052	0,087	0,207	0,207	0,139	0,007
3,6	0,293	0,000	0,087	0,139	0,293	0,293	0,207	0,015
3,7	0,393	0,000	0,139	0,207	0,393	0,393	0,293	0,029
3,8	0,500	0,000	0,207	0,293	0,500	0,500	0,393	0,052
3,9	0,607	0,000	0,293	0,393	0,607	0,607	0,500	0,087
4	0,707	0,000	0,393	0,500	0,707	0,707	0,607	0,139

### Выводы

Таким образом, расчеты функций  $P = P(m, \Delta)$  и  $m_{0,5}(\Delta, Az)$  позволили оценить чувствительность четырех сейсмических станций Архангельской сети и выявить её пространственное распределение при регистрации землетрясений мира для разных диапазонов эпицентральных расстояний и азимутов, и уточнить данные о технических параметрах регистрации этих станций.

Установлена большая чувствительность станции KLM по сравнению с другими станциями, особенно для эпицентральных зон, находящихся в азимутальном створе  $0^\circ-180^\circ$ , что объясняется наличием на этой станции двух комплектов (широкополосной и короткопериодной) аппаратуры, благоприятными геологи-

ческими условиями под станцией и меньшим техногенным воздействием на геологическую среду в пределах станции.

Сформирована компьютерная база данных о характеристиках сейсмической сети, столь необходимая при разработке методики проведения сейсмомониторинга на территории Архангельского региона.

### Литература

1. Юдахин Ф.Н., Французова В.И. Сейсмичность территории Архангельской области и прогнозы развития связанных с ней техногенных процессов // Сырьевая база России в XXI веке. М.: ОАО “ВНИИОЭНГ”. – 2002. – С. 507–521.
2. Юдахин Ф.Н., Французова В.И. О необхо-

- димости создания сети сейсмического мониторинга в северных регионах России // "Вестник УрО РАН" – 2006. – № 2 (16). – С. 25–35.
3. Аксенович Г.И., Антонова Л.В., Аптикаев Ф.Ф., Нерсесов И.Л., Николаев А.В., Ситников А.В., Трегуб Ф.С., Халтурин В.И. Отчет комплексной сейсмологической экспедиции ИФЗ АН СССР "Талгар". – 1988. – 98 с.
  4. Французова В.И., Габсатарова И.П., Ваганова Н.В., Захарова И.В. Оценка представительности сейсмических станций Архангельской сети при регистрации телесеизмических землетрясений Арктического региона // Строение, геодинамика и минерагенические процессы в литосфере: Матер. одиннадцатой междунар. науч. конф. Сыктывкар: Геопринт. – 2005. – С. 358–361.
  5. Французова В. И., Ваганова Н.В. Обобщение результатов мониторинга, проводимого Архангельской сетью сейсмических наблюдений // "Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных": Материалы Второй межд. сейсмол. Школы. – Пермь. – 2007. – С. 189–193.

### АНАЛІЗ РЕЄСТРАЦІЙНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ СЕЙСМІЧНИХ СТАНЦІЙ АРХАНГЕЛЬСЬКОЇ СЕЙСМІЧНОЇ МЕРЕЖІ

**В.І. Французова, Ф.Н. Юдахін, А.В. Николаєв, А.Н. Морозов**

На основі даних про світові землетруси, зареєстровані протягом чотирьох років експлуатації, проведено оцінку чутливості сейсмічних станцій Архангельської сейсмічної мережі. Виявлено просторовий розподіл чутливості при реєстрації землетрусів у різних діапазонах епіцентральної відстаней і азимутів, уточнено дані про технічні параметри реєстрації сейсмічних станцій.

**Ключові слова:** мережа сейсмічних станцій; чутливість; землетруси.

### ANALYSIS OF THE REGISTRATION POSSIBILITIES OF SEISMIC STATIONS OF ARCHANGELSK SEISMIC NETWORK

**V.I. Francuzova, F.N. Yudakhin, A.V. Nikolaev, A.N. Morozov**

The estimation of sensitivity of Archangelsk seismic network seismic station on the base of registered during four years world earthquakes is given. The spatial distribution of sensitivity at registrations of earthquakes in different range distances and azimuth are revealed, information about technical parameters of registrations for seismic stations are precise.

**Key words:** seismic stations network; sensitivity; earthquakes.

<sup>1</sup>Институт экологических проблем Севера УрО РАН, г. Архангельск, Россия

Надійшла 09.10.2008

<sup>2</sup>Архангельский научный Центр УрО РАН, г. Архангельск, Россия

<sup>3</sup>Институт физики Земли РАН, г. Москва, Россия