

ОЦЕНКА УРОВНЯ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ РАЙОНА ЗЕЙСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА ПО ДАННЫМ МНОГОЛЕТНИХ НАБЛЮДЕНИЙ СФ ФИЦ ЕГС РАН

Лихачева О.Н., Коваленко Н.С., Фокина Т.А.

Сахалинский филиал Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба РАН», г. Южно-Сахалинск, likhacheva@seismo.sakhalin.ru

Введение

Сахалинский филиал ФИЦ ЕГС РАН проводит наблюдения за сейсмичностью Зейского приводохранилищного района (ЗПР), начиная со времени строительства Зейской ГЭС и заполнения водохранилища. Район условно ограничен параллелями 52° и 56° с.ш. и меридианами 124° и 134° в.д. и входит в зону ответственности СФ ФИЦ ЕГС РАН (регион Приамурье – Приморье [3]). Сеть станций, расположенных вокруг водохранилища («Зея», «Бомнак», «Кировский», «Октябрьское», «Экимчан»), до 2015 года имела хорошие регистрационные возможности и вполне соответствовала задачам мониторинга ЗПР.

На станциях Зейского куста, расположенных в непосредственной близости от водохранилища («Бомнак», «Кировский», «Октябрьское»), до 2015 года работали сейсмометры СКМ-3, которые имели хорошую чувствительность и без пропусков регистрировали события с $K_p \geq 7.5$, но не позволяли оперативно передавать и интегрировать данные в общую базу землетрясений СФ ФИЦ ЕГС РАН. В 2015 году все аналоговые приборы на станциях были остановлены и заменены на цифровые. В результате перехода на цифровую регистрацию информация о землетрясениях Зейского приводохранилищного района стала поступать в РИОЦ «Южно-Сахалинск» оперативно, но количество землетрясений, регистрируемых станциями Зейского куста, уменьшилось в несколько раз (рис.1), поскольку на станциях «Бомнак», «Кировский», «Октябрьское» были установлены регистраторы пониженной чувствительности (акселерометры) CMG-5TDE (других просто не было в наличии).

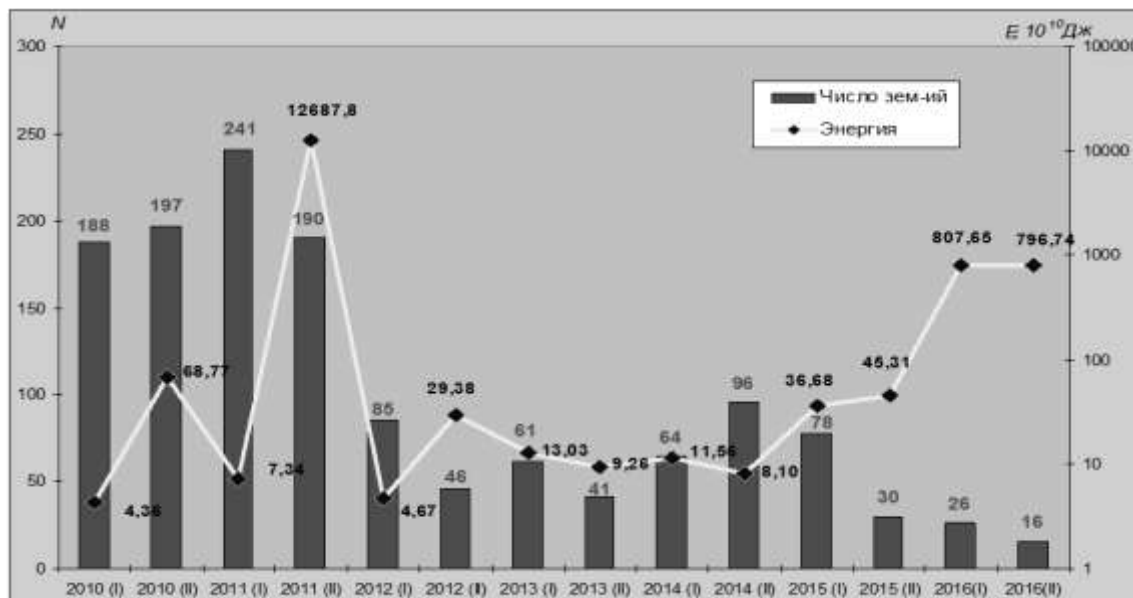


Рис. 1. Распределение числа землетрясений и суммарной сейсмической энергии в Зейском приводохранилищном районе по полугодиям 2010–2016 гг.

В сложившейся ситуации изучение слабой сейсмичности Зейского приводохранилищного района (что необходимо, в частности, для прогнозных задач), стало невозможным, и на первый план вышла практическая задача качественной оценки уровня сейсмической активности региона по имеющимся данным за текущий период. Уменьшение числа регистрируемых землетрясений почти не влияет на величину суммарной сейсмической энергии (рис.1), так как энергия слабых землетрясений

на несколько порядков меньше, чем сильных, и вклад ее в суммарную энергию за некоторый интервал времени не существен (около 2%, как следует из оценок, приведенных в работе [2]). В настоящее время станциями Зейского куста без пропусков регистрируются землетрясения с $K_p \geq 8.5$, поэтому единственным способом оценить уровень сейсмичности района является использование функций, связанных с суммарной сейсмической энергией.

Для оценки уровня сейсмической активности Зейского приводохранилищного региона использовалась методика СОУС*09 (статистическая оценка уровня сейсмичности), предложенная в работе [1].

Сейсмологические данные и методика работы

В основе метода СОУС*09 лежит построение эмпирической функции распределения десятичного логарифма суммарной сейсмической энергии, выделившейся в пределах данного региона за заданные интервалы времени [1]:

$F(K) = P(\lg E \leq K)$, где F – эмпирическая функция распределения, E – суммарная сейсмическая энергия в Дж, выделившаяся за заданный промежуток времени.

Для расчетов функций распределения $\lg E$ использовались каталоги землетрясений Зейского приводохранилищного района за 2000 – 2014 гг. Функции строились для интервалов 7 суток, 15 суток, 1 месяц, 3 месяца, 6 месяцев и 1 год. Функции распределения, построенные по интервалам менее 1 месяца, для дальнейшей работы не использовались, поскольку в настоящее время число землетрясений, попадающих в каталоги ЗПР в течение 1 – 2 недель, чрезвычайно мало (в среднем 1 – 2 события), поскольку слабые землетрясения практически не регистрируются.

Таким образом, для задачи сейсмического мониторинга ЗПР, в качестве базового промежутка времени для подсчета суммарной сейсмической энергии был выбран один месяц. Функции распределения месячной сейсмической энергии, построенные по каталогам за 3 года, 10 и 15 лет, отличались незначительно (рис. 2). Кроме того, мониторинг ежемесячной сейсмической энергии позволяет отслеживать внутригодовые изменения сейсмической обстановки в районе Зейской ГЭС.

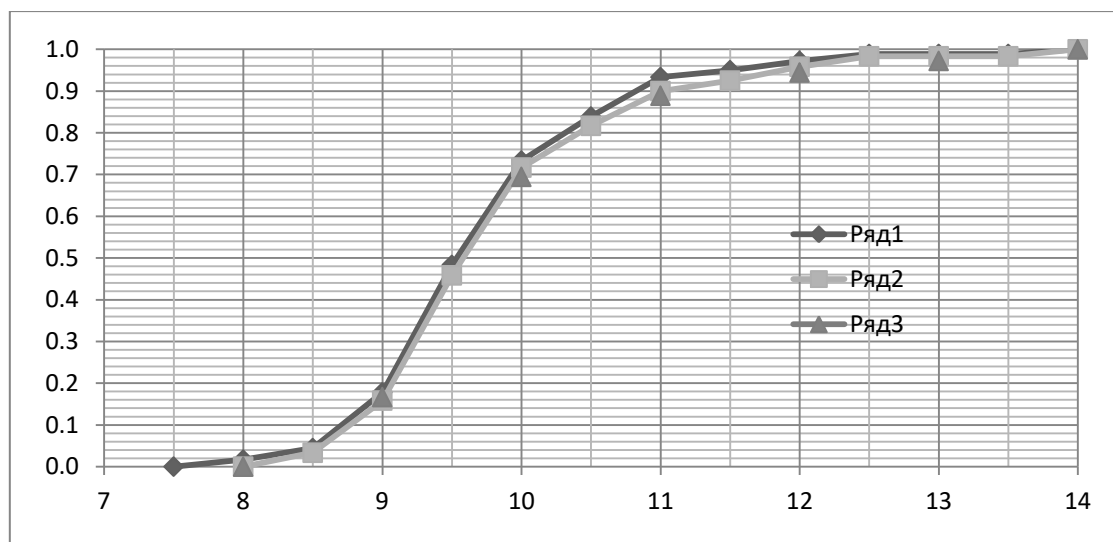


Рис. 2. Функции распределения $\lg E$, рассчитанные по каталогам ЗПР за 2000-2014 гг. (ряд 1), 2000-2009 гг. (ряд 2) и 2006-2008 гг. (ряд 3).

Результаты

В качестве рабочей использовалась осредненная функция распределения суммарной сейсмической энергии, выделившейся в течение месяца на территории ЗПР. Уровень сейсмичности определялся по шкале, предложенной в работе [1], кроме того, были определены квантили функции распределения $\lg E$, соответствующие градациям шкалы СОУС*09 (табл. 1). Таким образом, уровень

сейсмической активности района оценивался непосредственно по значению суммарной сейсмической энергии, выделившейся на территории ЗПР в течение месяца.

Таблица 1. Шкала уровня сейсмичности «СОУС*09» и соответствующие значения десятичного логарифма месячной сейсмической энергии Зейского приводохранилищного района

Градации уровня сейсмичности, основные	Градации уровня сейсмичности, дополнительные	Значения функции распределения $F(\lg E, \text{Дж})$	Квантили функции распределения $\lg E_{1 \text{ мес}}$
Экстремально низкий		$F < 0.005$	$\lg E < 7.95$
Низкий		$0.005 < F < 0.025$	$7.95 < \lg E < 8.20$
Фоновый	Фоновый пониженный	$0.025 < F < 0.15$	$8.20 < \lg E < 8.92$
	Фоновый средний	$0.15 < F < 0.85$	$8.92 < \lg E < 10.69$
	Фоновый повышенный	$0.85 < F < 0.975$	$10.69 < \lg E < 12.45$
Высокий		$0.975 < F < 0.995$	$12.45 < \lg E < 13.82$
Экстремально высокий		$F > 0.995$	$\lg E > 13.82$

Рассчитанная для ЗПР функция распределения $\lg E$ и, соответственно, данные таблицы 1 были использованы для анализа сейсмичности района в 2015 и 2016 гг., то есть за то время, когда регистрационные возможности сейсмической сети значительно снизились. В течение этих двух лет были месяцы, в течение которых не зарегистрировано ни одного землетрясения.

По каталогам землетрясений ЗПР за 2015–2016 гг. рассчитаны ежемесячные значения суммарной энергии и определен уровень текущей сейсмичности в соответствии со шкалой СОУС*09. Результаты представлены в таблице 2 и на рисунке 3.

Таблица 2. Изменение уровня сейсмической активности ЗПР в течение 2015 – 2016 гг.

Год, месяц	$\lg E$	Уровень сейсмичности
2015.01	10,68	Фоновый средний
2015.02	9,74	Фоновый средний
2015.03	9,92	Фоновый средний
2015.04	11,46	Фоновый ПОВЫШЕННЫЙ
2015.05	9,65	Фоновый средний
2015.06	10,16	Фоновый средний
2015.07	11,53	Фоновый ПОВЫШЕННЫЙ
2015.08	9,66	Фоновый средний
2015.09	10,10	Фоновый средний
2015.10	11,00	Фоновый ПОВЫШЕННЫЙ
2015.11		Экстремально низкий
2015.12	8,70	Фоновый пониженный
2016.01	8,81	Фоновый пониженный
2016.02	8,56	Фоновый пониженный
2016.03	12,91	ВЫСОКИЙ
2016.04	9,22	Фоновый средний
2016.05	9,45	Фоновый средний
2016.06		Экстремально низкий
2016.07	8,68	Фоновый пониженный
2016.08	7,80	Экстремально низкий
2016.09	12,60	ВЫСОКИЙ
2016.10	7,84	Экстремально низкий
2016.11		Экстремально низкий
2016.12	12,60	ВЫСОКИЙ

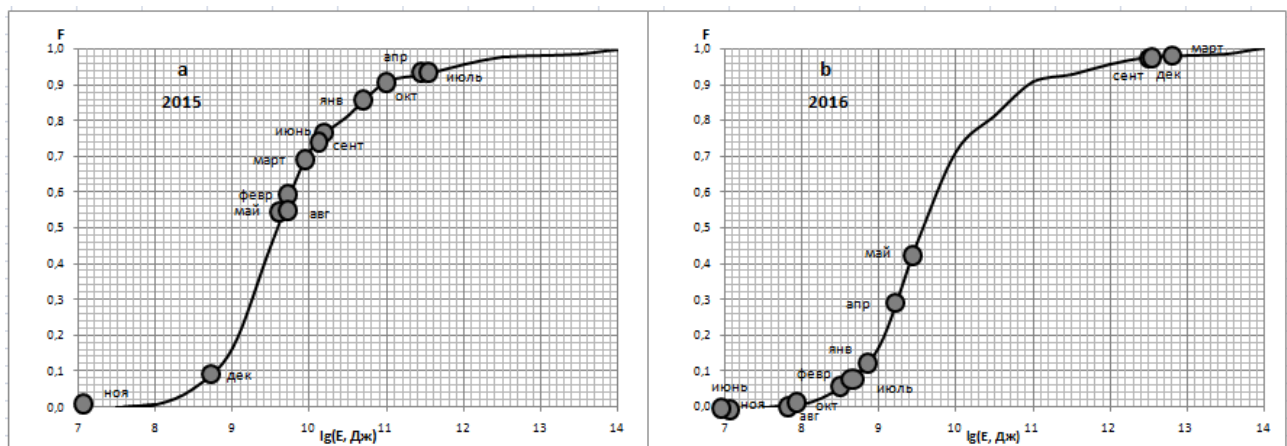


Рис. 3. Осредненная функция распределения месячной сейсмической энергии для Зейского приводохранилищного района. Кругами отмечены значения, соответствующие различным месяцам 2015 (a) и 2016 (b) гг.

Видно, что в течение 2015 года наблюдался в основном фоновый уровень сейсмичности, за исключением конца года, когда уровень стал экстремально низким (ноябрь) и фоновым пониженным (декабрь).

Иная картина наблюдалась в 2016 году, а именно – уровень сейсмической активности изменялся в течение года дважды от экстремально низкого до высокого и наоборот. Наглядно эти изменения представлены на рисунке 4.

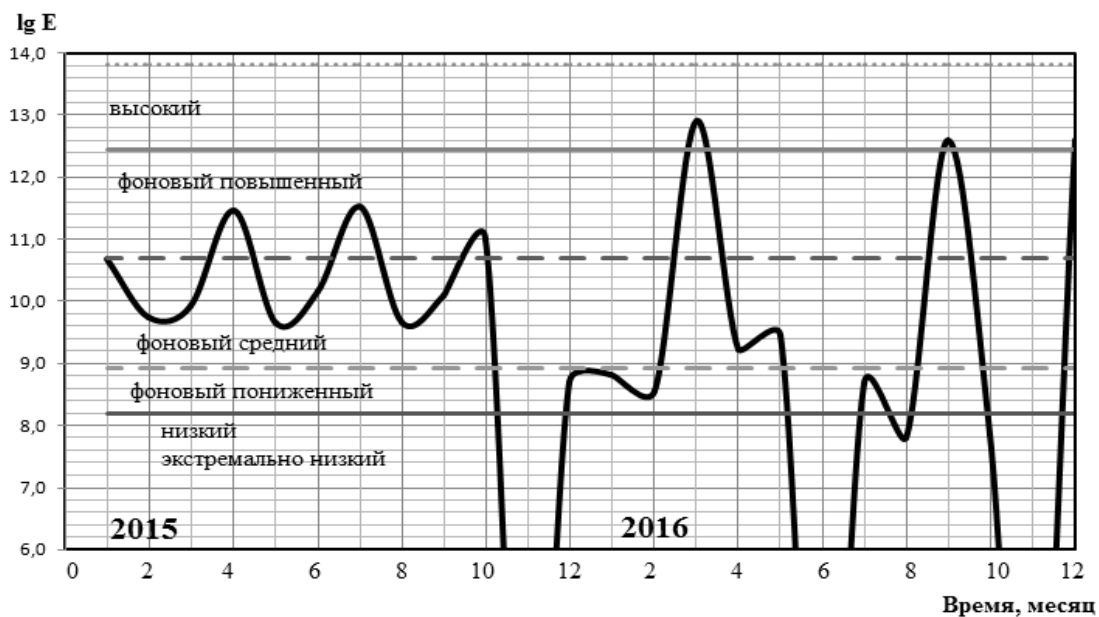


Рис. 4. Изменение $\lg E$ в течение 2015 – 2016 гг. Сплошными толстыми горизонтальными линиями отмечены границы основной шкалы уровня сейсмичности, пунктирными – границы дополнительной шкалы

Высокий уровень сейсмичности в марте 2016 года предваралялся экстремально низким уровнем в ноябре – декабре 2015 и фоновым пониженным уровнем в январе – феврале 2016 года. «Затишье» сменилось серией землетрясений с энергетическим классом Раутян $7.2 \leq K_p \leq 12.9$, самое сильное из которых (19 марта в 10:55) ощущалось в эпицентральной зоне с интенсивностью сотрясений до 5 баллов. Эта серия землетрясений обусловила высокий уровень сейсмичности в марте 2016 года.

Примерно по такому же сценарию развивался процесс в июне – сентябре 2016 года: в июне – августе наблюдалось «затишье» и затем в сентябре произошла серия землетрясений, четыре из которых имели класс Р_атиан $8.4 \leq K_p \leq 12.6$, интенсивность сотрясений достигала 5 баллов.

Заключение

Полученные результаты показывают перспективность использования методики СОУС*09 для оценки уровня сейсмической активности территории Зейского приводохранилищного района, особенно в условиях недостаточных регистрационных возможностей наблюдательной сети.

В дальнейшем авторы планируют применить данную методику для поиска и анализа характерных особенностей изменения энергетических характеристик сейсмического процесса на территории ЗПР. Возможно, это позволит выявить определенные закономерности развития сейсмического процесса перед сильными землетрясениями.

Список литературы

1. Салтыков В.А. Формализованная оценка уровня сейсмичности на примере Камчатки и Байкальского региона // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Четвертой Международной сейсмологической школы. Обнинск: ГС РАН, 2009. С. 178-182.
2. Салтыков В.А., Кравченко Н.М., Пойгина С.Г., Воронаев В.П. Оценка уровня сейсмической активности регионов России // Землетрясения России в 2015 году. Обнинск: ГС РАН, 2017. С.74-80.
3. Фокина Т.А., Коваленко Н.С., Михайлов В.И., Левин Ю.Н., Лихачева О.Н. Приамурье и Приморье, Сахалин и Курило-Охотский регион // Землетрясения России в 2015 году. Обнинск: ГС РАН, 2017. С.47-55.