



УДК 550.34

Ю. К. Серафимова

Камчатский филиал Геофизической службы РАН,  
г. Петропавловск-Камчатский  
e-mail: yulka@emsd.ru

## О новом подходе к анализу внутригодового распределения сильных землетрясений

В работе на примере Курило-Камчатского региона исследуется внутригодовое распределение сильных ( $M \geq 6,0$ ) землетрясений. Особенностью методического подхода является использование астрономических времен года, которые определяются датами солнцестояния и равноденствия. Показано, что связь между определенными фазами сезона и возникновением сильных землетрясений является статистически значимой для землетрясений  $K_S \geq 13,0$ ; для Камчатки и  $M \geq 6,5$  для Курильских островов. Результаты ретроспективной оценки эффективности использования сейсмопрогностического признака «смена сезонов» показывают возможность его использования в практике работы специализированных советов по прогнозу землетрясений.

### Введение

Особенностям внутригодового распределения землетрясений различных энергетических уровней посвящено достаточно много работ, в которых показано, что такое распределение имеет явную тенденцию к неравномерности, например [1, 5–7].

Традиционно внутригодовое распределение землетрясений анализируется по календарным месяцам года, либо по некоторым дискретным интервалам различной продолжительности, например [1, 5, 7].

В настоящей работе на примере сильных  $M \geq 6,0$  землетрясений, произошедших в Курило-Камчатского регионе, проводится анализ их распределения по временам года (сезонам) и по фазам сезонов. Смена сезонов обуславливается годичным периодом обращения Земли вокруг Солнца и наклоном оси вращения планеты относительно орбитальной плоскости. Смена сезонов рассматривается в качестве возможного триггерного воздействия на усиление сейсмической активности на различных энергетических уровнях.

Целью настоящей работы является исследование связи между сменой сезонов и возникновением сильных ( $M \geq 6,0$ ) землетрясений и оценка возможности использования такой связи в практике работы специализированных советов по прогнозу землетрясений (на примере Курило-Камчатского региона).

Ранее в [6] на основе анализа распределения сильных землетрясений Камчатки и Курильских островов в зависимости от фаз астрономических сезонов показано, что переходы от осени к зиме и, в меньшей степени, от весны к лету можно рассматривать как некоторое внешнее воздействие, обуславливающее повышенную частоту их возникновения.

### Используемые данные, методика их анализа и обсуждение результатов

Различают календарные, астрономические и климатические времена года. В настоящей работе будут рассмотрены только *астрономические времена* года.

Началом весны в северном полушарии считается момент, когда центр Солнца, двигаясь по эклиптике и переходя из Южного полушария неба в Северное (20 или 21 марта), пересекает небесный экватор в точке весеннего равноденствия. В момент начала лета в северном полушарии (21 или 22 июня) Солнце проходит через самую северную точку эклиптики — точку летнего солнцестояния. В момент начала осени в северном полушарии (23 сентября) Солнце вторично пересекает экватор в точке осеннего равноденствия, переходя из Северного полушария в Южное. Зима в северном полушарии начинается (21 или 22 декабря), когда Солнце проходит через наиболее южную точку эклиптики — точку зимнего солнцестояния [3].

В работе приняты следующие даты начала и окончания астрономических сезонов [4]:

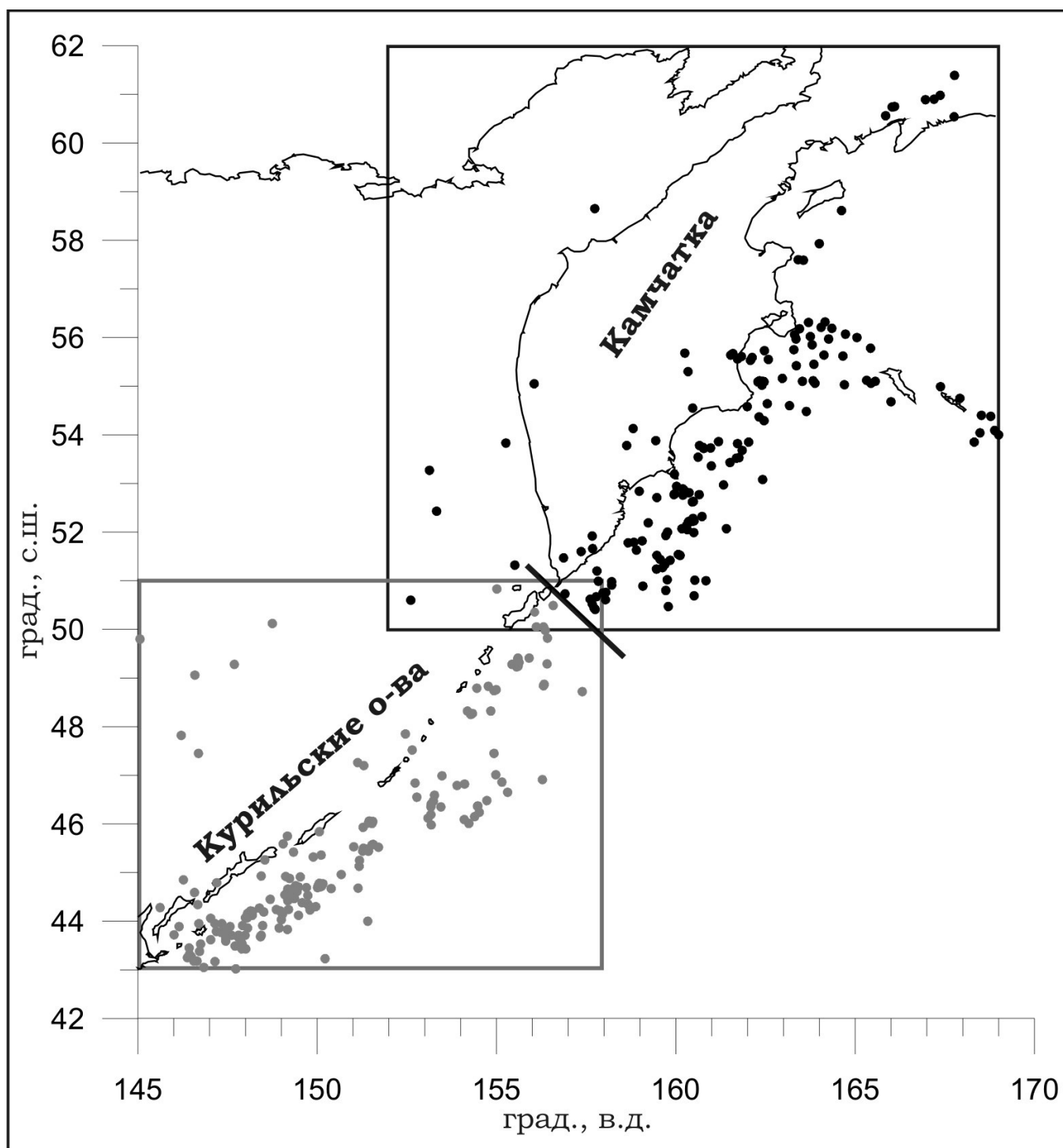
зима: 22 декабря — 20 марта (продолжительность 89 дней);

весна: 21 марта — 21 июня (продолжительность 93 дня);

лето: 22 июня — 22 сентября (продолжительность 93 дня);

осень: 23 сентября — 21 декабря (продолжительность 90 дней).

**Каталоги землетрясений.** На рис. 1 приводится схема расположения исследуемых районов, в пределах которых производились выборки землетрясений. Выборка камчатских землетрясений с величиной энергетического класса  $K_S \geq 12,6$  по классификации С. А. Федотова проводилась из ката-



**Рис. 1.** Схема расположения исследуемых районов и эпицентров анализируемых сильных ( $M \geq 6,0$ ) землетрясений Камчатки (черный прямоугольник, чёрные точки) и Курильских островов (серый прямоугольник, серые точки).

лога КФ ГС РАН<sup>1</sup> за период 1 января 1962 г. — 31 декабря 2012 г. для глубин 0–700 км и включает 158 событий. В выборку включались только те землетрясения, для которых хотя бы одна из определённых магнитуд была бы  $M \geq 6,0$ .

Выборка землетрясений с магнитудами  $M \geq 6,0$  для района Курильских островов проводилась из каталога USGS<sup>2</sup> за период 1.01.1973 — 31.12.2012 г. для глубин 0–600 км и включает 177 событий.

Выборки землетрясений из каталогов производились с учётом их энергетических параметров —

<sup>1</sup><http://emsd.ru/seismicity/katalogi-zemletryaseni>

<sup>2</sup><http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/epic/>

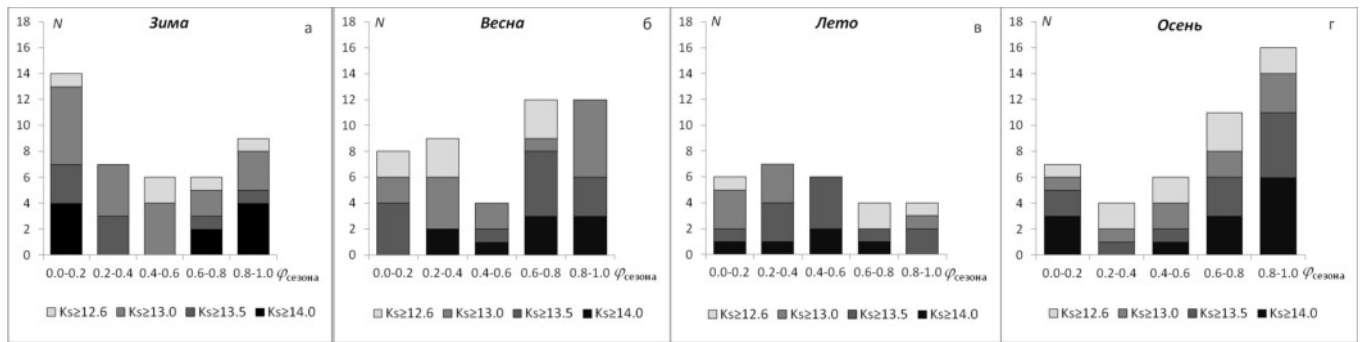


Рис. 2. Распределение камчатских землетрясений в зависимости от величин их энергетических классов и значений фаз отдельных астрономических сезонов (а-г).

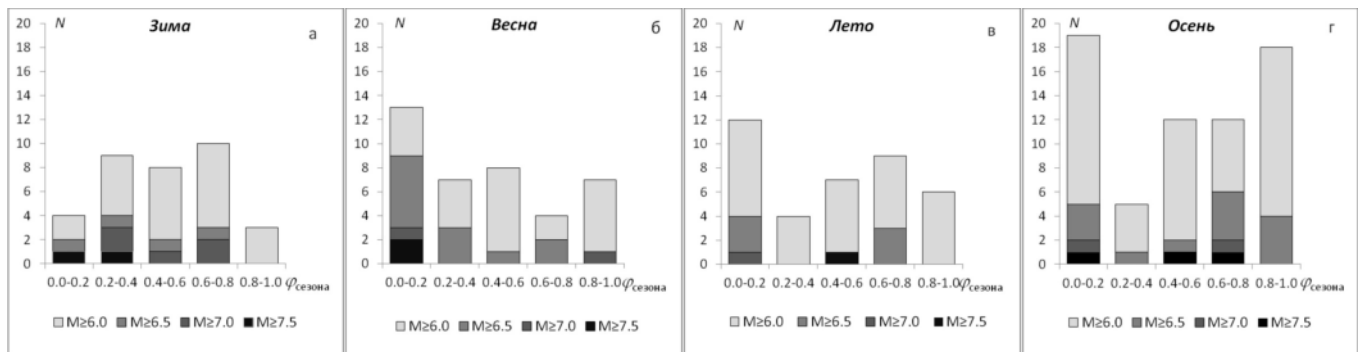


Рис. 3. Распределение курильских землетрясений в зависимости от значений магнитуд и значений фаз отдельных астрономических сезонов (а-г).

$K_S \geq 12,6$ ,  $K_S \geq 13,0$ ,  $K_S \geq 13,5$  и  $K_S \geq 14,0$  для Камчатки и  $M \geq 6,0$ ,  $M \geq 6,5$ ,  $M \geq 7,0$  и  $M \geq 7,5$  для Курильских островов.

Для каждого землетрясения рассчитывалось значение фазы сезона, в котором оно произошло. Если принять продолжительность сезона за единицу, то фаза любого события рассчитывается как отношение разности времени между возникновением события и началом соответствующего сезона к продолжительности сезона:

$$\varphi_{\text{собы}} = (\tau_{\text{собы}} - \tau_{\text{нач. сезона}}) / T_{\text{сезона}},$$

где  $\varphi_{\text{собы}}$  — значение фазы события,  $\tau_{\text{собы}}$  — дата события,  $\tau_{\text{нач. сезона}}$  — дата начала сезона,  $T_{\text{сезона}}$  — продолжительность сезона в сутках.

Далее с учётом энергетических параметров землетрясений строились гистограммы их распределения по фазам сезонов (рис. 2, 3).

Анализ распределения землетрясений внутри всех сезонов в целом показал, что для камчатских землетрясений для всех энергетических уровней и всех астрономических сезонов сохраняется тенденция увеличения количества землетрясений к началу и к концу сезонов (рис. 4а). Для курильских землетрясений только в началах сезонов отмечается увеличение их количества (рис. 4б).

Если утверждение о неравномерности распределения землетрясений верно, необходимо опровергнуть нулевую гипотезу о равномерном распределении событий по фазам сезонов. Задача сводится

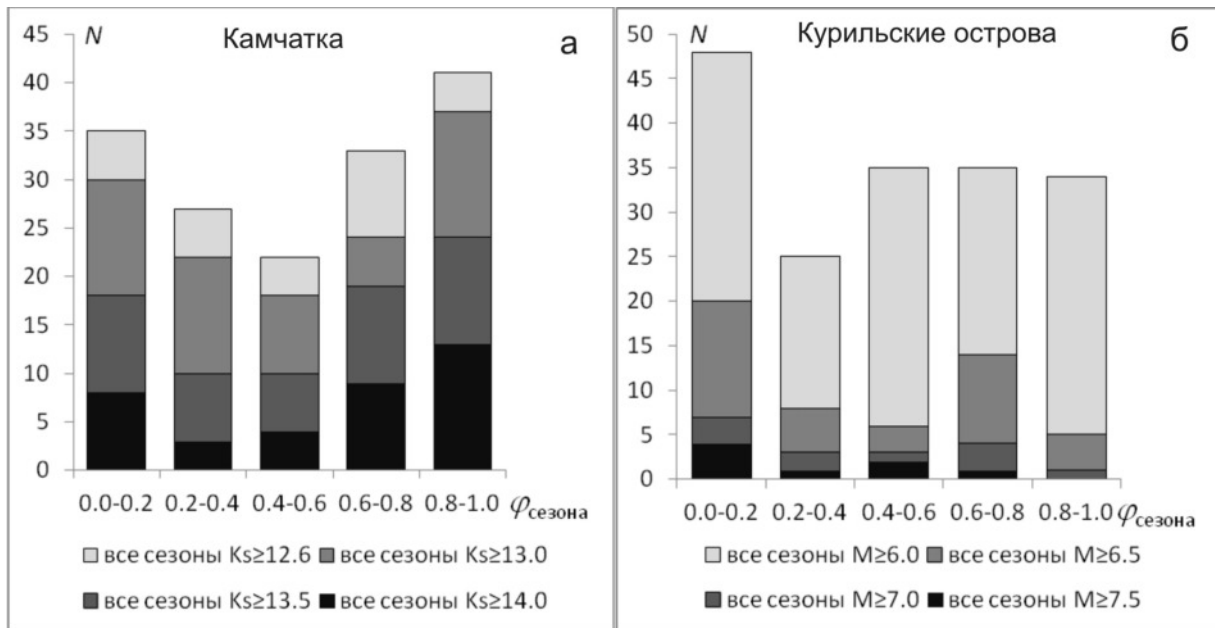
к сравнению теоретического и фактического распределения по статистическому критерию. В качестве такого критерия использовался непараметрический критерий оценки —  $\chi^2$  (критерий Пирсона), который применяется, когда данные в выборке разделены на несколько дискретных интервалов, при этом в формировании значения  $\chi^2$  участвуют все дискретные интервалы.

С уровнем значимости  $p = 0,10$  нулевая гипотеза отвергается для распределений камчатских землетрясений по фазам астрономических сезонов при четырёх степенях свободы для энергетических уровней, начиная с  $K_S \geq 13,0$ .

Для курильских землетрясений гипотеза о равномерном распределении отвергается с уровнем значимости  $p = 0,005$  для событий с  $M \geq 6,5$ .

Полученные результаты свидетельствуют о том, что такое распределение не является случайным и имеется статистически значимая связь между увеличением количества сильных землетрясений и определённой фазой сезона. Это может быть дополнительной полезной информацией при прогнозировании землетрясений [6].

**Оценка практической значимости выявленного эффекта.** Назовем отношение интенсивности потока землетрясений в заданном диапазоне фаз астрономического сезона к общему потоку событий за весь анализируемый период *надёжностью оценки связи между конкретным диапазоном фаз и возникновением сильных землетрясений* ( $R$ ).



**Рис. 4.** Распределение землетрясений в зависимости от их энергетических параметров и значений фаз астрономических сезонов, полученное методом наложения эпох: а — распределение камчатских землетрясений, б — распределение землетрясений Курильских островов.

Средняя интенсивность потока событий за весь период наблюдений,  $I_{\text{ср}} = N/T$ , где  $N$  — число землетрясений за весь период наблюдений, шт.,  $T$  — продолжительность периода наблюдений, годы.

Интенсивность потока событий в конкретном диапазоне фаз сезона, например 0,0–0,2, за весь период наблюдений, определяется как  $I_{0,0-0,2} = N'_{0,0-0,2}/T'$ , где  $N'_{0,0-0,2}$  — число землетрясений в диапазоне фаз 0,0–0,2 в сезоне, шт.,  $T'$  — продолжительность диапазона фаз сезона с дискретностью 0,2 (в годах) за весь период наблюдений, определяется как  $(T_{\text{сезона}} \times 0,2 \times T)/365$ . Величина параметра  $R$  определяется как  $R_{0,0-0,2} = I'_{0,0-0,2}/I_{\text{ср}}$ .

Изменение параметра  $R$  для землетрясений Камчатки и Курильских островов приведены на рис. 5. Для камчатских землетрясений с  $K_S \geq 13,0$  максимальные значения параметра  $R$  соответствуют переходам от осени к зиме и от весны к лету (рис. 5а). Это хорошо согласуется с высказанным выше предположением о связи между сменой астрономических сезонов и возникновением сильных землетрясений на Камчатке. Для курильских землетрясений с  $M \geq 6,5$  наибольшие значения параметра  $R$  получены для начала весны (рис. 5б).

Далее эффект увеличения параметра  $R$  в периоды смены сезонов рассматривается в качестве сейсмопрогностического признака с оценкой его ретроспективной эффективности для прогнозирования сильных землетрясений по [2].

Для каждой выборки землетрясений с учётом их энергетических параметров и для каждой из рассматриваемых смен сезонов (осень-зима, зима-весна, весна-лето и лето-осень) анализировалось соответствие наличия или отсутствия прогностического

признака «смена сезона» произошедшим землетрясениям в выделенных «опасных» диапазонах фаз. В качестве опасных фаз рассматривались окончания и начала сезонов, т.е. значения фаз 0,8–1,0 и 0,0–0,2 соответственно.

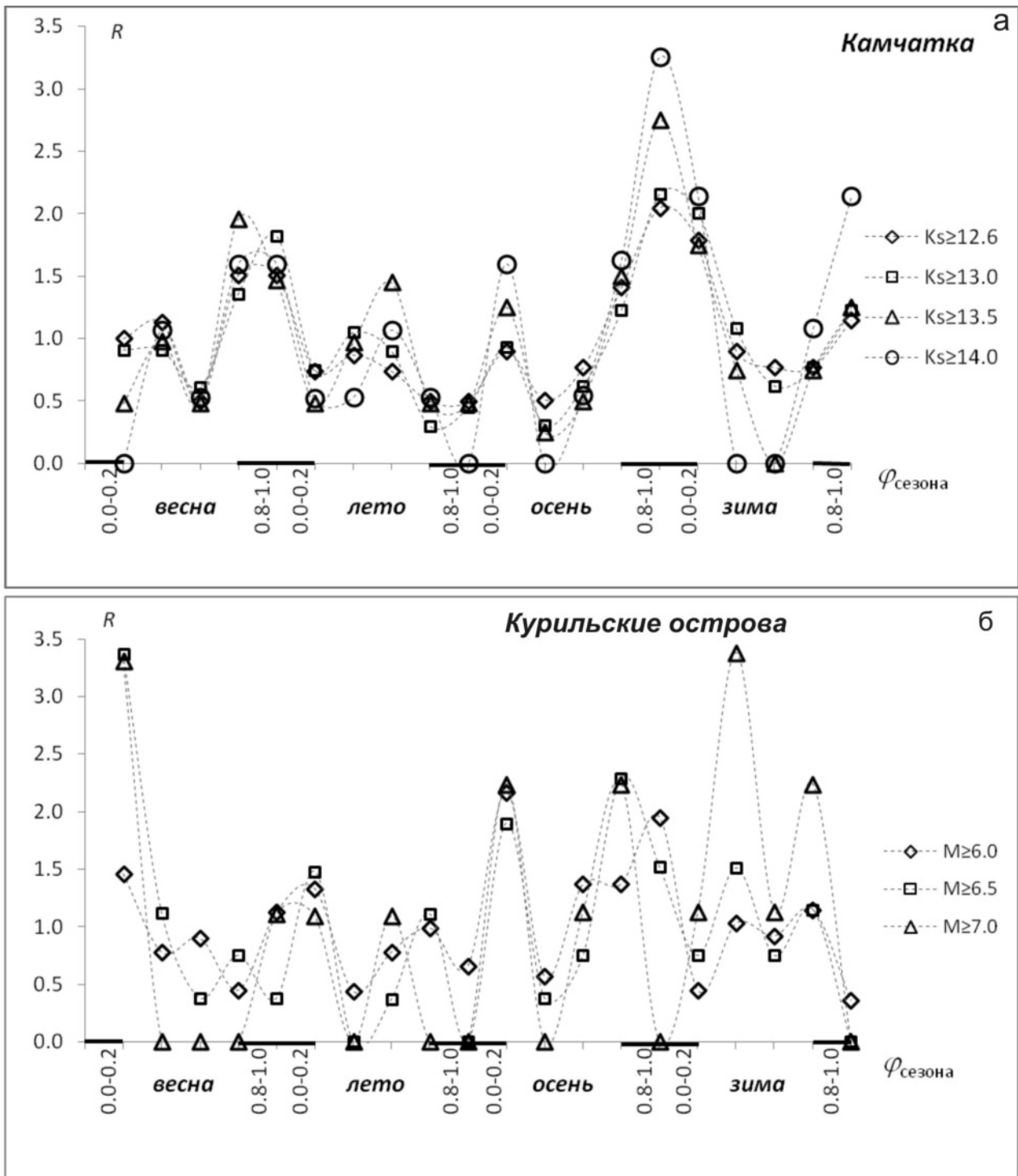
За меру эффективности использования сейсмопрогностического признака  $J_{\text{пр}}$  принимается отношение числа «опасных» диапазонов фаз, в течение которых происходили землетрясения, к числу диапазонов, в которых ожидаются землетрясения, возникающие случайным образом. На рис. 6 показано изменение эффективности использования признака «смена сезонов» при прогнозировании времени сильных землетрясений Камчатки и Курильских островов.

Рост величины эффективности признака «смена сезона» при переходе от осени к зиме может использоваться в практике работы по оценке сейсмической опасности на Камчатке для уточнения времени возникновения сильных землетрясений с  $K_S \geq 12,6$  (вероятность случайного возникновения таких землетрясений  $P = 0,15$ ). При этом наибольшая величина ретроспективной сейсмопрогностической эффективности установлены для землетрясений с  $K_S \geq 14,0$  (при  $P = 0,26$ ). «Опасный» диапазон фаз соответствует периоду времени с 04 декабря по 08 января.

Для землетрясений из района Курильских островов использование признака «смена сезонов» не приводит к повышению эффективности в прогнозировании времени их возникновения.

## Выводы

1. На основе анализа распределения сильных землетрясений Камчатки и Курильских островов



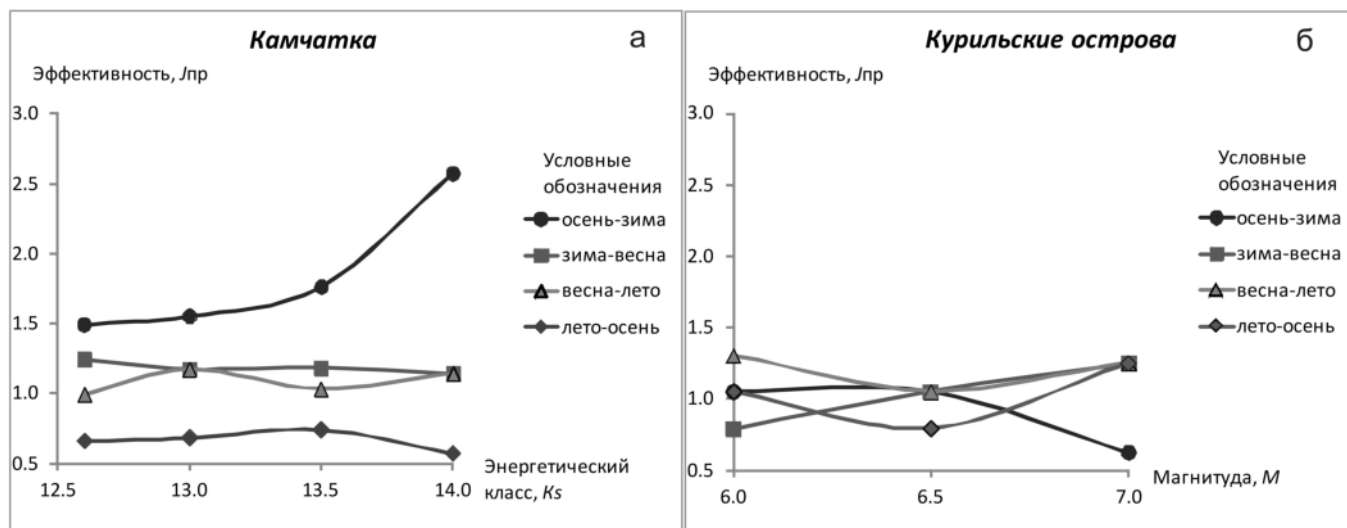
**Рис. 5.** Изменение параметра надёжности оценки связи между отдельными диапазонами фаз астрономических сезонов и возникновением землетрясений ( $R$ ): а — Камчатки, б — Курильских островов. Жирными горизонтальными линиями выделены диапазоны фаз, соответствующие периодам смены сезонов.

в зависимости от фаз астрономических сезонов показано, что переходы от осени к зиме и, в меньшей степени, от весны к лету можно рассматривать как некоторое внешнее воздействие, обуславливающее повышенную частоту их возникновения.

2. Установленная статистически значимая связь между определёнными фазами астрономических

сезонов и возникновением сильных землетрясений Камчатки с  $K_S \geq 13,0$  и Курильских островов с  $M \geq 6,5$  может найти применение при прогнозировании периодов сейсмической активности.

3. Результаты ретроспективной оценки эффективности использования сейсмопрогностического признака «смена сезона» при переходе от осени



**Рис. 6.** Изменение эффективности использования сеймопрогностического признака «смена сезонов» при прогнозировании времени сильных землетрясений Камчатки (а) и Курильских островов (б) в зависимости от их энергетических параметров.

к зиме при прогнозировании времени камчатских землетрясений с  $K_S \geq 14,0$  показывают возможность его использования в практике работы специализированных советов по прогнозу землетрясений.

#### Список литературы

1. Андреева М.Ю., Сасорова Е.В., Левин Б.Ф. Особенности внутригодового распределения землетрясений Курильского региона // Тихоокеанская геология. 2009. Том. 28, №5. С. 85–95.
2. Гусев А.А. Прогноз землетрясений по статистике сейсмичности // Сейсмичность и сейсмический прогноз, свойства верхней мантии и их связь с вулканизмом на Камчатке. Новосибирск: Наука, 1974. С. 109–119.
3. Климишин И.А. Календарь и хронология. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. 480 с.
4. Куликовский П.Г. Справочник любителя астрономии. М.: ФИЗМАТГИЗ, 1961. 494 с.
5. Левин Б.Ф., Сасорова Е.В., Журавлев С.А. Внутригодовая повторяемость активизации сейсмического процесса для Тихоокеанского региона // ДАН. 2005. Том. 403. №4. С. 534–540.
6. Серафимова Ю.К. О связи сезонности и сильных ( $M \geq 6,0$ ) землетрясений Курило-Камчатского региона // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды Четвертой научно-технической конференции. Петропавловск-Камчатский. 29 сентября — 5 октября 2013 г. Обнинск: ГС РАН, 2013. С. 200–204.
7. Федотов С.А. О закономерностях распределения сильных землетрясений Камчатки, Курильских островов и северо-восточной Японии // Тр. Ин-та физики Земли АН СССР. М.: Наука, 1965. № 36 (203). С. 66–93.

---

## **Секция III**

Современные гидротермальные системы:  
геотермия, геохимия, постмагматические процессы.  
Вулканогенное рудообразование.  
Новые методы исследования и оборудование.