



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 эклипике 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-

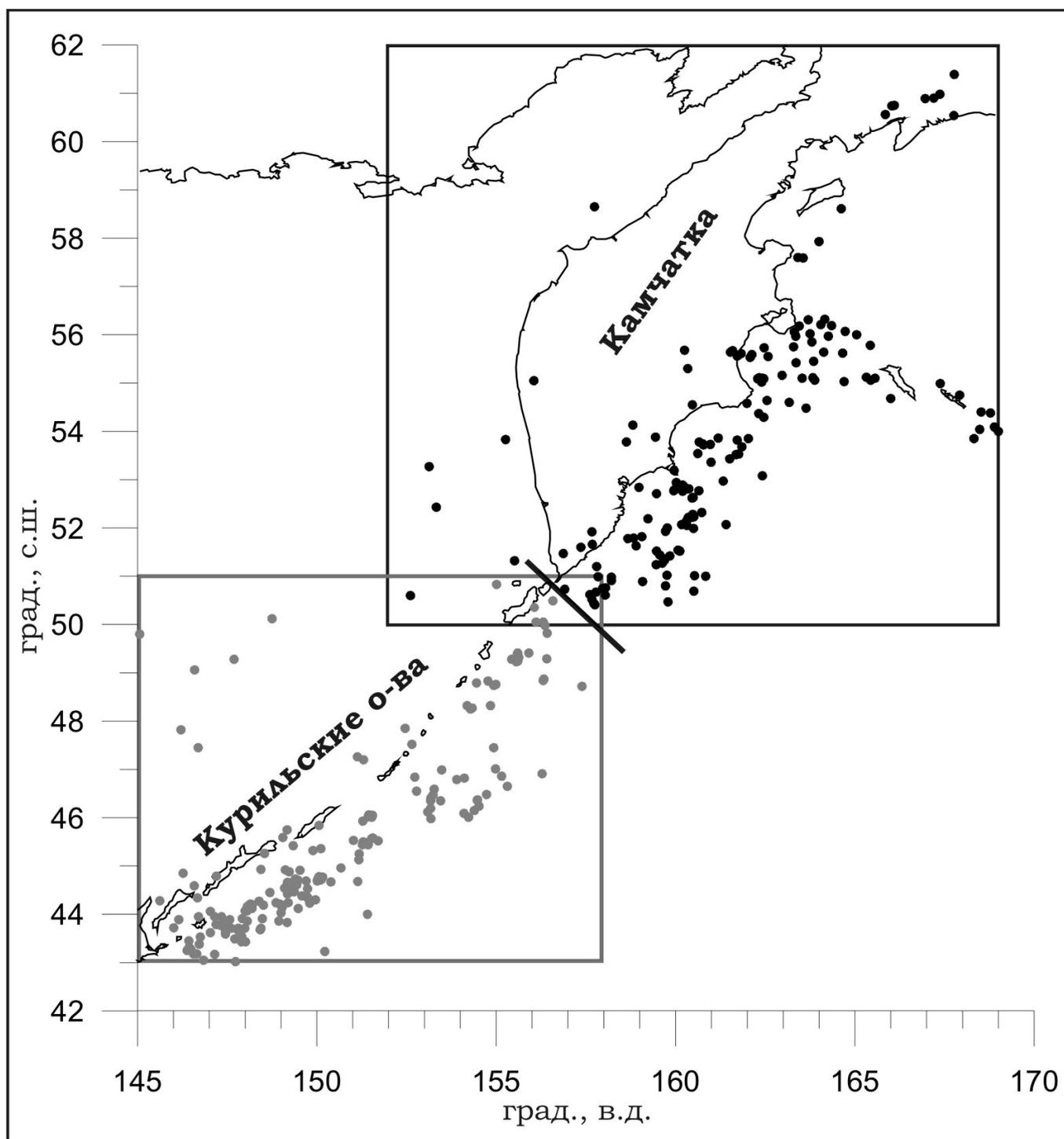


Рис. 1. Схема расположения исследуемых районов и эпицентров анализируемых сильных ($M \geq 6,0$) землетрясений Камчатки (черный прямоугольник, чёрные точки) и Курильских островов (серый прямоугольник, серые точки).

лога КФ ГС РАН¹ 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 USGS² 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 —

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

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

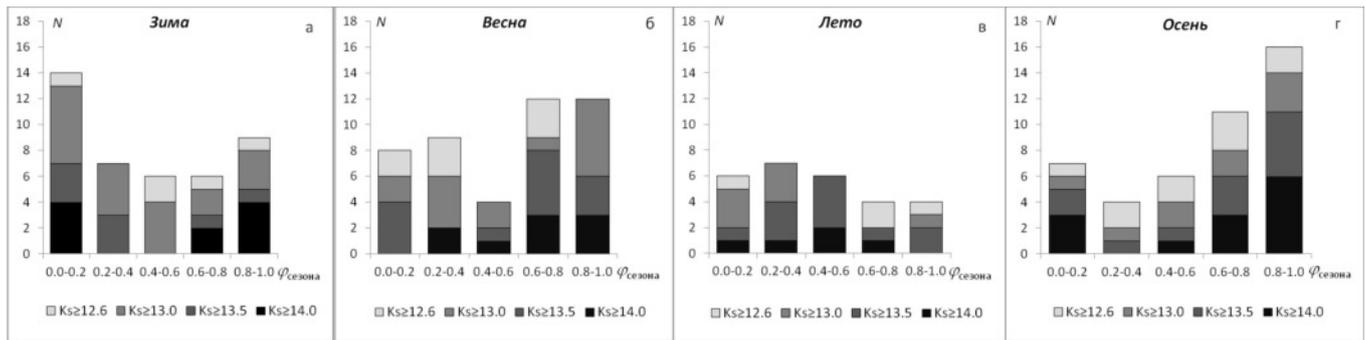


Рис. 2. Распределение камчатских землетрясений в зависимости от величин их энергетических классов и значений фаз отдельных астрономических сезонов (а-г).

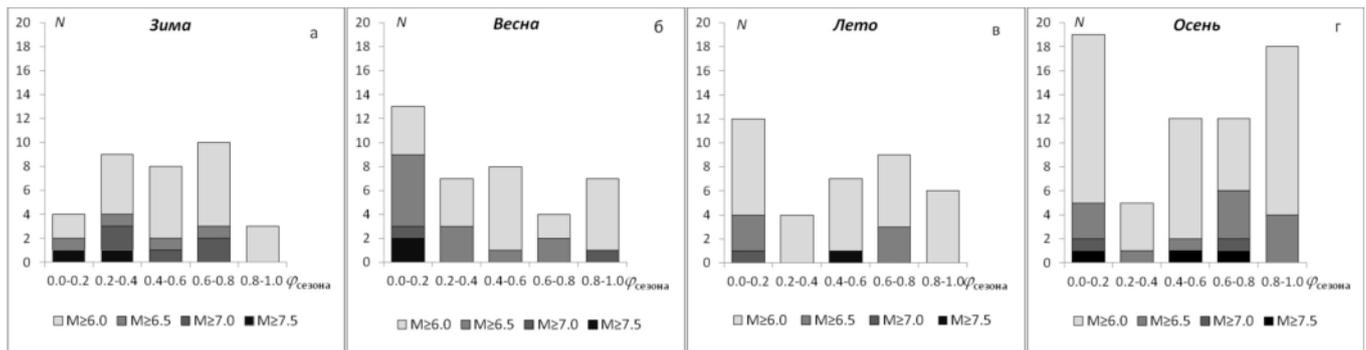


Рис. 3. Распределение курильских землетрясений в зависимости от значений магнитуд и значений фаз отдельных астрономических сезонов (а-г).

$K_S \geq 12,6$, $K_S \geq 13,0$, $K_S \geq 13,5$ 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 — χ^2 (критерий Пирсона), который применяется, когда данные в выборке разделены на несколько дискретных интервалов, при этом в формировании значения χ^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).

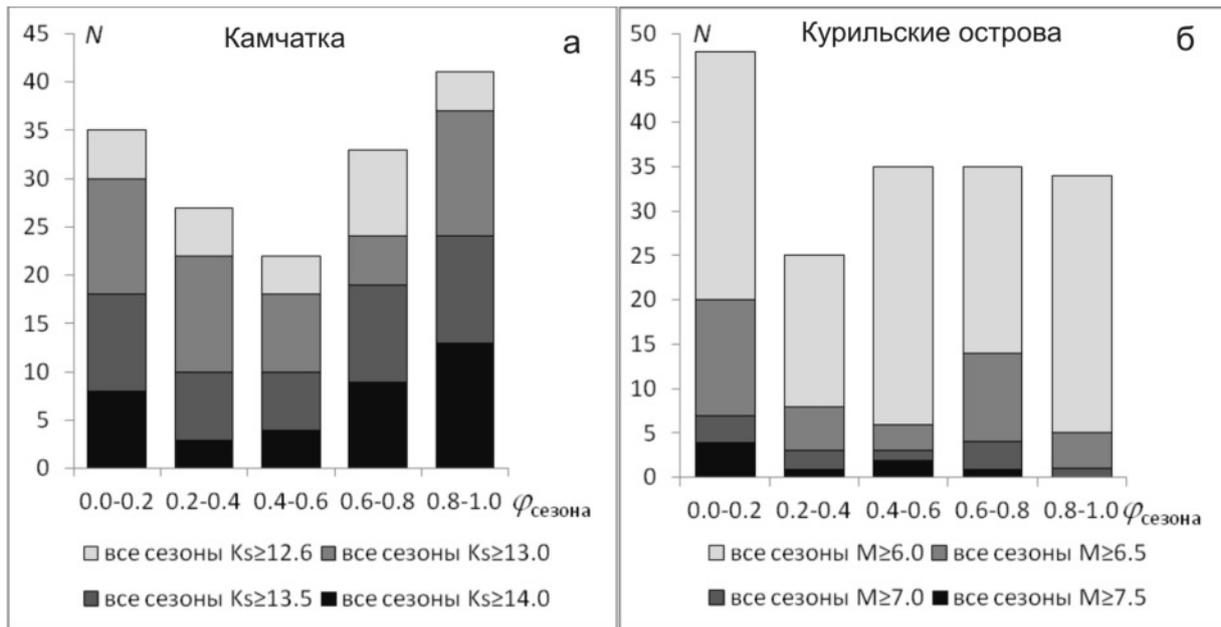


Рис. 4. Распределение землетрясений в зависимости от их энергетических параметров и значений фаз астрономических сезонов, полученное методом наложения эпох: а — распределение камчатских землетрясений, б — распределение землетрясений Курильских островов.

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

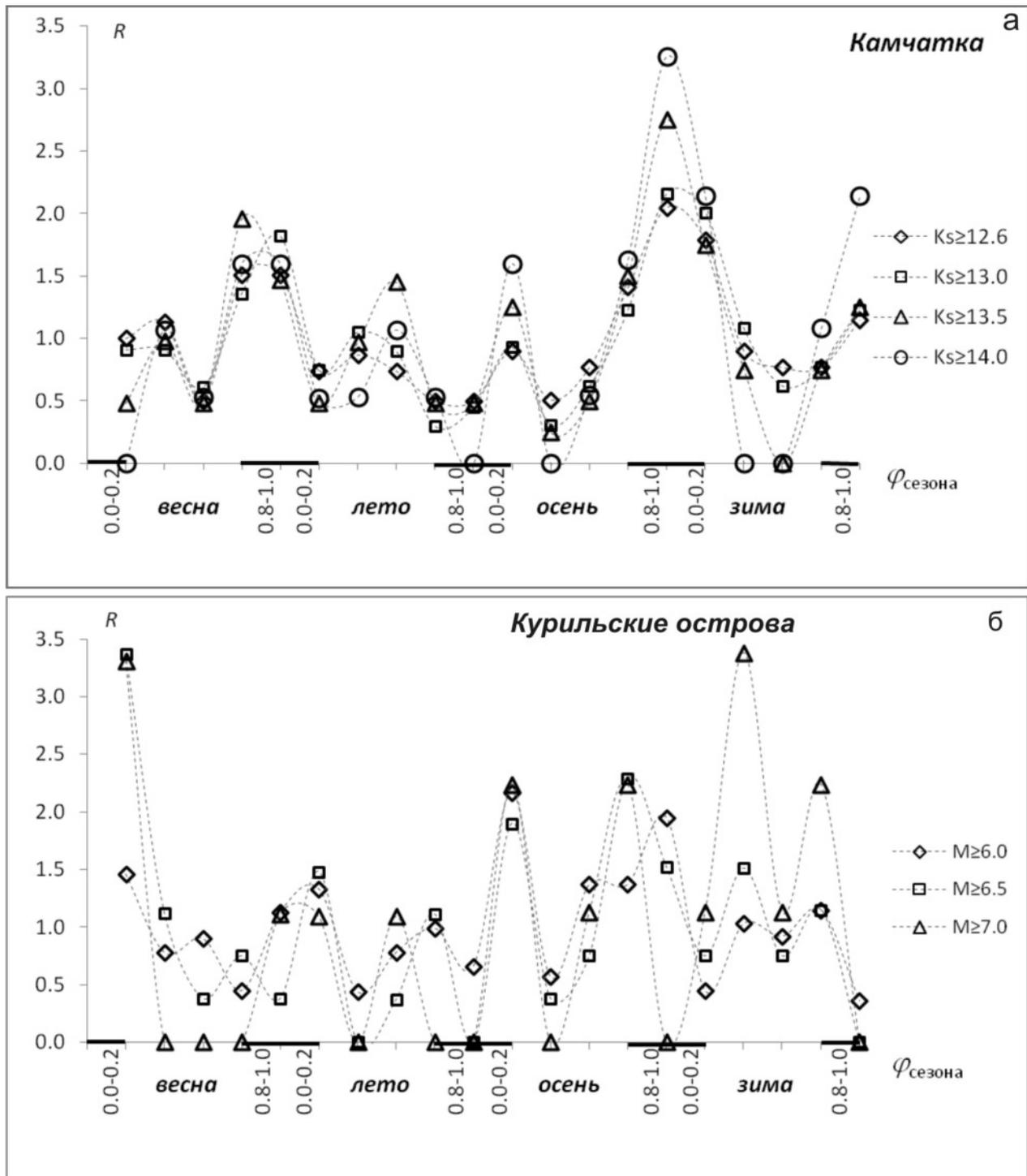


Рис. 5. Изменение параметра надёжности оценки связи между отдельными диапазонами фаз астрономических сезонов и возникновением землетрясений (R): а — Камчатки, б — Курильских островов. Жирными горизонтальными линиями выделены диапазоны фаз, соответствующие периодам смены сезонов.

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

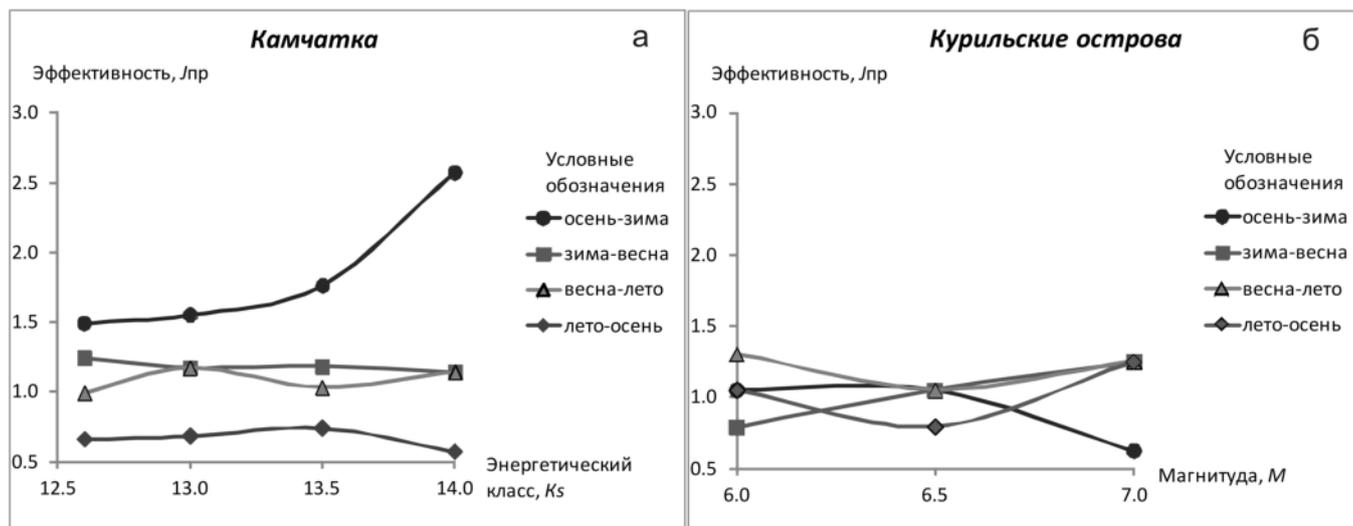


Рис. 6. Изменение эффективности использования сейсмопрогностического признака «смена сезонов» при прогнозировании времени сильных землетрясений Камчатки (а) и Курильских островов (б) в зависимости от их энергетических параметров.

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.