

УДК 550. 343. 6

Экспресс-оценка сейсмической опасности в южной части о. Сахалин на основе данных комплексных геофизических наблюдений в рамках действующего среднесрочного прогноза

© 2025 г. А.С. Закупин^{1,2}, Д.В. Костылев^{1,2}, Н.С. Стобун^{1,2}, Н.В. Костылева^{1,2}

¹СФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Южно-Сахалинск, Россия; ²ИМГиГ ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск, Россия

Поступила в редакцию 24.09.2025 г.

Аннотация. Рассматривается возможность реализации среднесрочного прогноза сильного землетрясения ($M \geq 5.5$) в соответствии с Протоколом № 2 Сахалинского филиала Российского экспертного совета по прогнозу землетрясений от 9 апреля 2025 г., действующего для центральных и южных районов острова Сахалин в пределах отдельных сегментов Западно-Сахалинского и Центрально-Сахалинского разломов (координаты $47.0\text{--}49.5^\circ\text{N}$, $141.5\text{--}143.0^\circ\text{E}$). Оценки проведены в рамках двухстадийного подхода к прогнозу сейсмических событий, когда ранее выделенные зоны среднесрочного прогноза расчёты методом уточняются с помощью геофизических измерений. В работе для этого использованы данные с пунктов измерения вертикальной компоненты электротеллурического поля и объёмной активности радона в подпочвенном воздухе, которые находятся в зоне действия среднесрочного прогноза. Показано, что в 2025 г. на пунктах измерения в селе Колхозном (Невельский район) и в г. Южно-Сахалинске наблюдается увеличение значений электротеллурического поля, которое синхронизировалось с ростом локальной сейсмической активности. Также по данным измерений объёмной активности радона на пунктах в Южно-Сахалинске и пос. Фирсово обнаружены аномалии перед локальными событиями в период активизации сейсмичности в конце июня 2025 г. (дуплет землетрясений вблизи г. Анивы и пос. Быкова).

Ключевые слова: землетрясение, прогноз, механизм очага, электротеллурический потенциал, радон.

Для цитирования: Закупин А.С., Костылев Д.В., Стобун Н.С., Костылева Н.В. Экспресс-оценка сейсмической опасности в южной части о. Сахалин на основе данных комплексных геофизических наблюдений в рамках действующего среднесрочного прогноза // Российский сейсмологический журнал. – 2025. – Т. 7, № 4. – С. 83–95. – DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2025.4.09>. – EDN: ZGCPQS

Введение

В южной части Сахалина сейсмический режим определяют Западно-Сахалинская и Центрально-Сахалинская разломные зоны. Западно-Сахалинская зона протягивается в основании восточного склона Татарского пролива и почти на всём протяжении скрыта под его водами. Сейсмическая активность Западно-Сахалинской зоны довольно высока и проявила себя серией сильных землетрясений, включая Крильонские 1921, 1978, 1981, 2013 и 2017 гг. ($M=5.0\text{--}5.2$), Горнозаводское 2006 г. ($M=5.6$) и Невельское 2007 г. ($M=6.2$). Центрально-Сахалинская зона (Тымь-Поронайская) по уровню сейсмичности уступает Западно-Сахалинской, но проявляется доста-

точно сильными землетрясениями – Анивскими 1951 и 1964 гг. ($M=5.5$ и 5.0), Перевальско-Синегорскими 1923 и 1924 гг. ($M=4.5$ и 4.8), Перевальским 1949 г. ($M=5.2$) и др.

В предыдущем тысячелетии [Новый каталог ..., 1977] и в первые десятилетия XXI в. на о. Сахалин произошло множество землетрясений, три из которых оказались катастрофическими – Нефтегорское 1995 г. ($M=7.2$), Углегорское 2000 г. ($M=7.0$) и Невельское 2007 г. ($M=6.2$). С 2022 г. на острове наблюдается сейсмическое затишье в диапазоне землетрясений средних магнитуд ($M=5.0\text{--}5.5$). В работе [Zakupin et al., 2024] исследование главных разломных структур южной части Сахалина методом среднесрочного сейсмического прогноза LURR (Load-Unload

Response Ratio) [Yin *et al.*, 1995; Закупин, Богинская, 2021] выявило предвестники землетрясений с магнитудами $M \geq 5.0$ в течение времени до конца 2025 года. Вместе с тем, для данного метода среднесрочного прогнозирования, время с момента появления предвестника до ожидаемого землетрясения может составлять несколько лет. Потому целесообразно использовать двухстадийные модели прогноза с привлечением данных, позволяющих уточнять время ожидаемого сейсмического события, которые для LURR уже применялись в ретроспективном исследовании [Zakupin *et al.*, 2020]. Впервые же о таких моделях было заявлено в работе [Tikhonov, 2012], где метод саморазвивающихся процессов (СРП) применялся для ретроспективного прогноза двух сильных сейсмических событий: Шикотанского 04.10.1994 г. и Невельского 02.08.2007 г. землетрясений, совместно с другими методами (выделяющими сейсмические бреши). В данной работе предлагается новый вариант двухстадийной оценки, для чего привлекаются данные измерений вертикальной компоненты электротеллурического поля (ЭТП) [Стобун и др., 2025] и объёмной активности радона (ОАР) в подпочвенном воздухе [Макаров и др., 2018; 2020] на пунктах мониторинга, расположенных на юге Сахалина [Zakupin *et al.*, 2024].

Активное изучение вариаций теллурических полей перед сейсмическими событиями началось ещё в XX в. в Институте физики Земли АН СССР под руководством Г.А. Соболева и В.Н. Морозова [Соболев, Демин, 1980]. На Камчатке была установлена сеть станций, удалённых друг от друга на расстояние 100 км и более. В данных ЭТП наблюдались «бухтообразные» изменения за несколько суток-недель до сейсмических событий с амплитудой до нескольких десятков мВ/м. Параллельно с исследованиями на Камчатке греческие учёные (VAN-метод) развернули сеть станций ЭТП по всей Греции, которая действует и по сей день [Helman, 2020]. Они регистрировали плавные или резкие вариации в данных ЭТП с амплитудой до 10 мВ/м с частотой не более 1 Гц за сутки-недели до землетрясений. Современные исследования подтверждают перспективность электротеллурических измерений для выявления различных вариаций, включая те, что связаны с сейсмичностью [Юшко, 2007]. В частности, фиксируются квазипериодические импульсы [Li *et al.*, 2013], а также рост значений поля [Salikhov *et al.*, 2021; Moroz Y., Moroz T., 2009], предшествующие сейсмическим событиям. Что касается вариаций ОАР перед землетрясениями, то они про-

являются в форме долговременных трендов (от нескольких месяцев до нескольких лет) [Firstov, Makarov, 2020], а также более краткосрочных изменений в виде роста концентрации ОАР длительностью в несколько суток или недель [Козлова и др., 2025]. Актуальность совместного анализа данных ЭТП и вариаций ОАР обусловлена давно установленной значимой корреляцией между пространственно-временными изменениями напряжённости электрического поля в приземном слое атмосферы и ОАР в зонах влияния тектонических разломов [Косарев, Спивак, 2012].

Целью работы является рассмотрение аномалий геофизических полей на юге Сахалина и сопоставление их с уточнёнными данными действующего прогноза Сахалинского филиала Российского экспертного совета по прогнозу землетрясений (СФ РЭС).

Сейсмическое районирование южной части о. Сахалин

Одна из первых карт сейсмического районирования Сахалина была составлена ещё в середине 1960-х гг. [Соловьев, 1968; Соловьев, Оскорбин, 1969] с учётом всех тогда имевшихся сведений о землетрясениях и геолого-геофизических данных о строении острова. Через десятилетие проведено повторное рассмотрение схемы сейсмического районирования [Соловьев, Оскорбин, 1977], и по настоящее время предложенная схема выдержала испытание временем. Тем не менее, потребность в решении задач, связанных с оценкой сейсмической опасности, значительно возросла, и работы по изучению тектонической интерпретации сейсмичности продолжались. Модель Л.С. Оскорбина была положена в основу построения карты ОСР-97 для Сахалина и прилегающих регионов. Однако для детального анализа сейсмической опасности была принята модель ИМГиГ-97, в которой из модели Л.С. Оскорбина используется только оригинальная геометрия сейсмических источников [Оскорбин, 1997]. В 2007 г. в Институте морской геологии и геофизики (ИМГиГ) ДВО РАН предложена новая сейсмотектоническая модель ИМГиГ-2007, которая содержит 19 площадных зон источников, отвечающих структурным элементам о. Сахалин и прилегающей акватории, а также ряд линейных источников, которые соответствуют прямо или косвенно установленным активным разломам (рис. 1 слева). Главное отличие этой модели состоит в использовании также распределения характеристических землетрясений на ряде крупных разломов [Левин и др., 2012]. На данную модель и будет опираться дальнейшее исследование.

Согласно модели ИМГиГ-2007, выделен ряд линейных зон источников (или сейсмолинеаментов), которые соответствуют достоверно установленным или предполагаемым активным разломам. На рис. 1 показаны границы площадных зон источников – линеаментов (доменов) (D1–D9) на юге Сахалина и положение активных или предполагаемых активных разломов [Рождественский, Сапрыгин, 1999]. Также на рисунке представлены крупнейшие (с $M \geq 5.0$) землетрясения, зарегистрированные в указанных

границах за последние 100 лет по историческим данным [Соловьев и др., 1967; Поплавская и др., 2006] и по результатам наблюдений последних лет, например, [Сафонов и др., 2024].

Приведём информацию по самым сильным землетрясениям на Сахалине ($M \geq 5.0$) с указанием линеамента, в котором оно произошло. Данная информация поможет понять проблему активности в отдельных очагах и обозначить приблизительный период повторяемости (табл. 1).

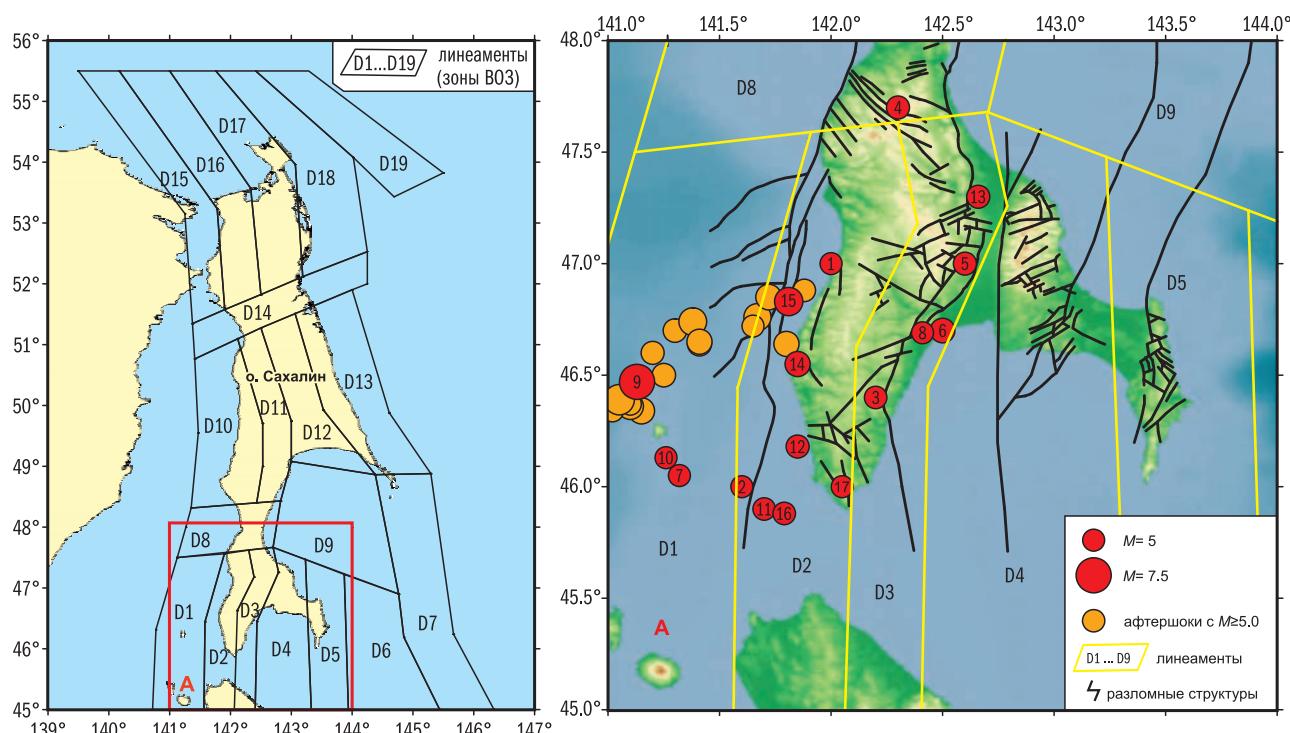


Рис. 1. Конфигурация зон возникновения очагов землетрясений (ВОЗ) по модели ИМГиГ-07 (слева), и сильнейшие землетрясения 1916–2025 гг. в южной части острова Сахалин (справа)

Таблица 1. Сильнейшие землетрясения южной части о. Сахалин XX–XXI вв. с $M \geq 5.0$

Название события	№ на рис. 1	Дата, дд.мм.гггг	$\varphi, {}^{\circ}\text{N}$	$\lambda, {}^{\circ}\text{E}$	$h, \text{км}$	M
1	2	3	4	5	6	7
Монеронские (D1)	2 7 9 10	18.06.1919 09.03.1963 05.09.1971 21.09.1977	46.00 46.05 46.47 46.13	141.60 141.32 141.13 141.26	20 22 17 30	5.0 5.0 7.5 5.0
Холмское (D2)	1	14.08.1916	47.00	142.00	20	5.0
Крильонские (D2)	3 11 12 16 17	07.10.1921 21.03.1978 25.05.1981 25.11.2013 23.04.2017	46.40 45.90 46.18 45.88 46.00	142.20 141.70 141.85 141.79 142.05	22 20 15 12 5	5.1 5.1 5.2 5.1 5.0
Горнозаводское (D2)	14	17.08.2006	46.55	141.85	13	5.6
Невельское (D2)	15	02.08.2007	46.83	141.81	10	6.2

1	2	3	4	5	6	7
Перевальское (D3)	5	30.10.1949	47.00	142.60	10	5.2
Анивские (D3)	6	02.02.1951	46.70	142.50	10	5.5
	8	10.05.1964	46.69	142.41	10	5.0
Такойский рой (D3)	13	01.09.2001	47.30	142.66	7	5.2
Томаринское (D9)	4	04.09.1923	47.70	142.30	14	5.2

Как уже было сказано выше, основным сейсмогенерирующим разломам на юге Сахалина – Западно-Сахалинскому (ЗСР) и Центрально-Сахалинскому (ЦСР) – соответствуют зоны D2 и D3. Для зоны D2 в последние 50 лет наблюдается периодическая активизация сильных землетрясений (Крильонские 1978, 1981, 2013 и 2017 гг., Горнозаводское 2006 г., Невельское 2007 г.), а для зоны D3 последние сейсмические события с $M \geq 5.0$ (Анивские землетрясения 1951 и 1964 гг.) были отмечены более 60 лет назад (за исключением Такойского роя 2001 г. с $M_{\max} = 5.2$).

Результаты

Среднесрочный прогноз по параметру LURR построен на аномалиях, которые были обнаружены в 2023 г. для сегментов D2 и D3. С учётом информации из табл. 1, вероятность землетрясения в зоне D3 представляется выше. Для обновления данных по текущему прогнозу построены графики LURR для тех же областей расчёта, что и в [Zakupin et al., 2024], где были представлены данные с 2003 по 2023 г., но по актуальным данным сейсмического каталога до марта 2025 г. (рис. 2).

Из графиков видно, что после появления аномалий в 2023 г. других аномальных изменений не было. Как уже было упомянуто, при средних оценках реализации прогнозов по методу LURR для о. Сахалин (время с момента появления предвестника до прогнозируемого землетрясения может составлять до двух лет (в некоторых случаях немного больше)), возможное событие следует ждать до конца 2025 года. В силу взаимного влияния при расчёте (области перекрывают друг друга) точного ответа, для какой именно зоны ВОЗ делается прогноз, дать невозможно.

Актуальность прогноза можно дополнительно проверить на основе результатов полевых геофизических исследований, проведённых в 2024 г. на полигоне ИМГиГ ДВО РАН по измерению вертикальной компоненты ЭТП. В ходе исследования выявлена корреляция между усилением сейсмической активности и аномалиями (ростом) данной компоненты, причём в точ-

ках экстремумов (на увеличении или последующем спаде) происходили самые сильные события из всего периода измерений [Стовбун и др., 2025]. В работе было показано, что самое сильное землетрясение в районе ЗСР за 2024 г. (19.01.2024 г., $M=4.6$) произошло на пике самой значительной (по длительности и амплитуде) аномалии ЭТП на пункте «Южно-Сахалинск». После данного землетрясения активизация сейсмичности на юге Сахалина продолжалась в течение трёх месяцев, вплоть до окончания аномалии. Землетрясение 19.01.2024 г. с $M=4.6$ оказалось по энергии несколько ниже заявленного в прогнозе СФ РЭС, и прогноз не был снят, хотя в целом после аномалий 2023 г. активность была ожидаема.

Вторым значимым наблюдением стало то, что в период двух первых аномалий произошли землетрясения 31.03.2024 г. с $M=3.0$ и 15.06.2024 г. с $M=4.1$ на эпицентральных расстояниях 42 и 49 км от пункта ЭТП. Это два землетрясения в радиусе 50 км (из каталога с $M>3.0$), их эпицентры располагались на суше. Остальные сейсмические события из каталога находились в морской зоне с эпицентральными расстояниями 85–165 км от станции ЭТП. Данный результат является особенно актуальным в контексте прогноза землетрясений, так как пункт измерений, на котором получены данные, находится непосредственно в середине зоны ВОЗ D3 (г. Южно-Сахалинск).

В 2025 г. ИМГиГ ДВО РАН начал измерения на втором пункте, который находится посередине зоны D2 (с. Колхозное, Невельский район). Расстояние между двумя пунктами составляет 75 км. Оба пункта измерений показаны на карте (рис. 3): YSSR (полигон ИМГиГ ДВО РАН) и KKHR (с. Колхозное).

В работе [Стовбун и др., 2025] представлены данные на конец 2024 г., где последняя аномалия завершилась в ноябре 2024 года. Первые существенные изменения начались весной 2025 г., поэтому в настоящей работе будут описаны периоды измерений, где зафиксированы новые аномальные возмущения ЭТП. На рис. 4 приведены вариации вертикальной компоненты ЭТП

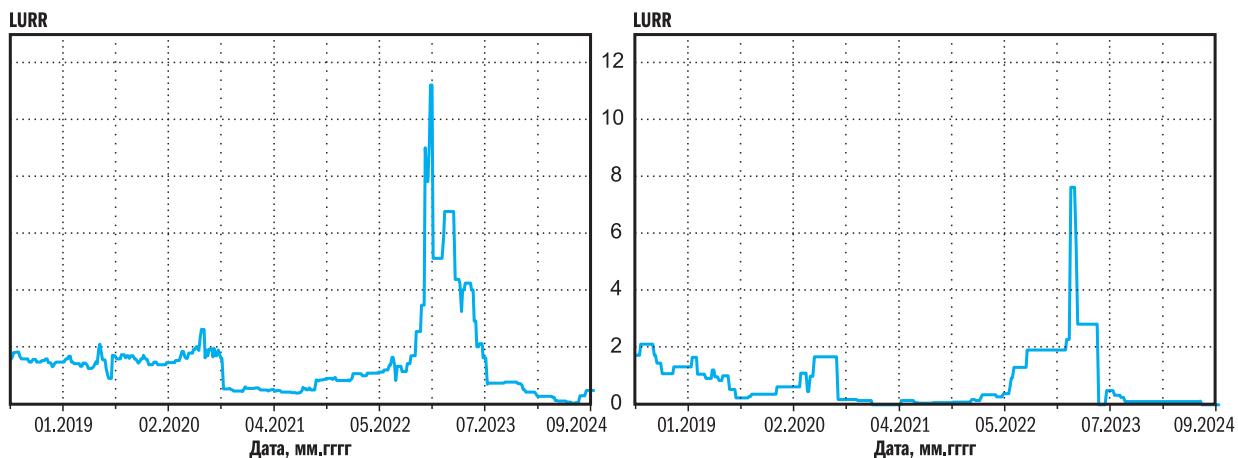


Рис. 2. Изменение параметра LUUR с 2018 по 2025 г. для сегментов Центрально-Сахалинского (D3, слева) и Западно-Сахалинского (D2, справа) разломов

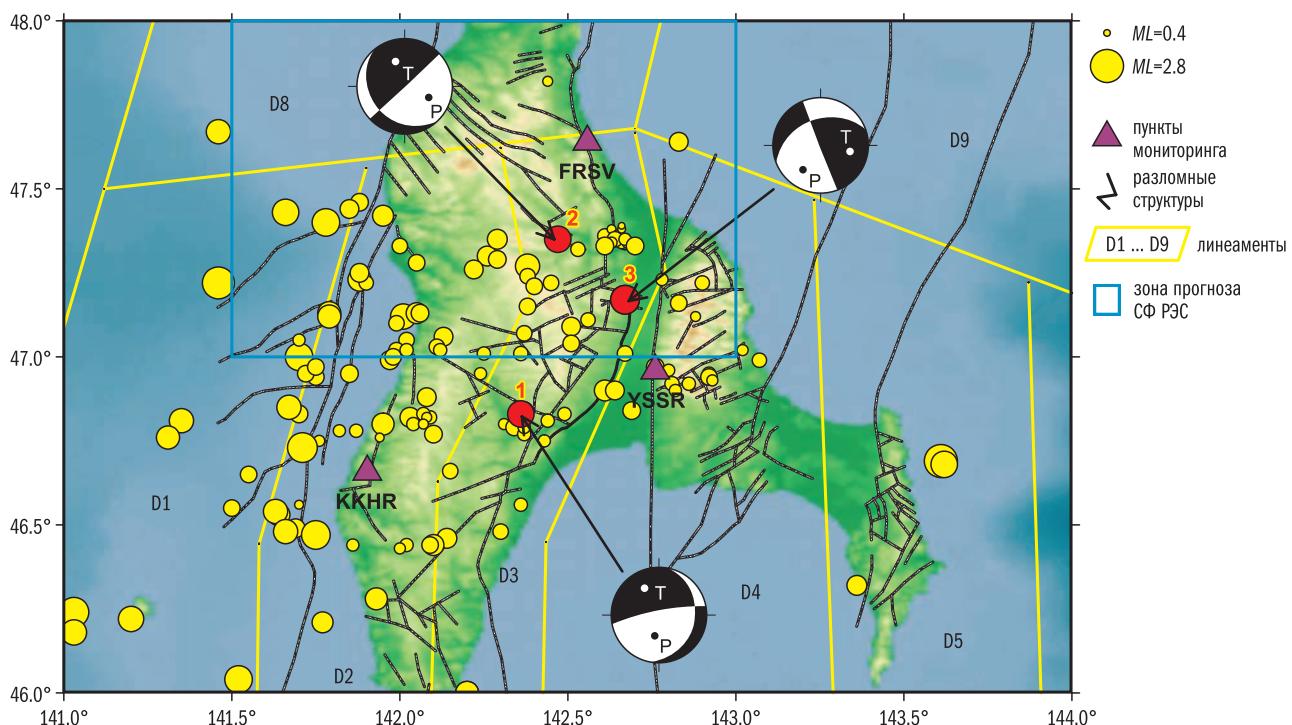


Рис. 3. Карта сейсмичности южной части о. Сахалин в период с мая по конец августа 2025 г.

Показаны линеаменты, разломы, зона прогноза СФ РЭС (синий квадрат) и станции мониторинга ОАР и ЭТП

с 01.05. по 31.08.2025 г. на станциях YSSR (рис. 4а) и KKHR (рис. 4б). За рассматриваемый период наблюдается синхронное увеличение ЭТП на этих двух станциях. На станции YSSR, начиная с 15.06.2025 г., значение ЭТП резко возрастает с нуля до 572 мВ/м. Далее высокое значение сохраняется до 08.07.2025 г., когда оно постепенно уменьшается до 255 мВ/м. На станции KKHR наблюдается схожая картина: постепенное повышение уровня ЭТП происходит с начала мая 2025 г., далее рост продолжается

до величины 1800 мВ/м 30.07.2025 года. Таким образом, появление аномалий в изменениях вертикальной компоненты ЭТП на двух станциях происходит с разницей в полтора месяца, при этом они достигают максимальной амплитуды в период июня–июля 2025 года. В предыдущей работе [Стовбуна и др., 2025] такие же периоды повышенного уровня ЭТП анализировались на предмет связи с метеорологическими параметрами за 11 месяцев наблюдений. Коэффициент корреляции Спирмена между вариациями ЭТП,

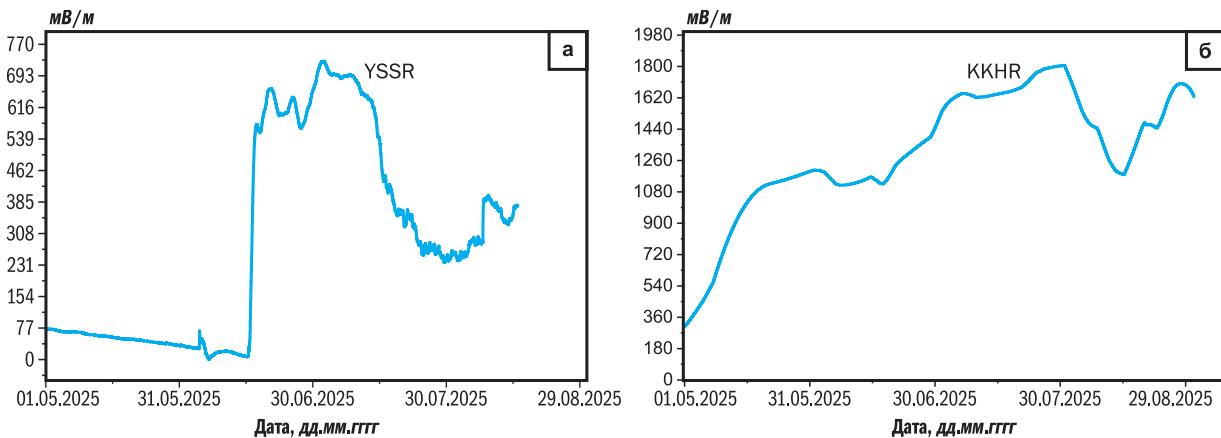


Рис. 4. Вариации вертикальной компоненты ЭТП на пунктах измерений YSSR (а) и KKHR (б) с 01.05. по 31.08.2025 г.

скоростью ветра, атмосферным давлением и влажностью воздуха не превышал 0.3. Для температуры коэффициент составил 0.66. Детальный анализ показал, что корреляция присутствует на суточных интервалах и меньших амплитудах, чем описываемые аномалии. Таким образом, маловероятно, что представленные на рис. 4 вариации связаны с метеорологическими изменениями.

В южной части Сахалина имеются действующие пункты мониторинга объёмной активности радона. Пункты были установлены Сахалинским филиалом (СФ) ФИЦ ЕГС РАН в Южно-Сахалинске (YSSR) и в с. Фирсово (FRSV) (рис. 3). Расстояние между пунктами составляет 75 км. На рис. 5а представлены вариации ОАР на двух пунктах с 01.05. по 31.08.2025 года. На рис. 5б,в представлены графики ОАР вместе с вариациями атмосферного давления. Данные об атмосферном давлении взяты с ближайших метеостанций (<https://rp5.ru>). Ближайшая метеорологическая станция находится в 33 км от FRSV и в 8 км от YSSR. Все графики были предварительно отфильтрованы скользящим средним с 12-часовым окном. В записях FRSV с 01.05. по 14.05.2025 г. есть пропуск данных.

Рассмотрим вариации ОАР с 01.05. по 31.08.2025 г. (рис. 5). На рис. 5а можно наблюдать одновременный рост ОАР на двух станциях. В данных FRSV наблюдается резкое увеличение ОАР 21.05.2025 г. с 7.7 до 14.7 кБк/м³. Высокие значения ОАР сохраняются до 02.06.2025 г., после чего постепенно ещё увеличиваются и достигают 28.8 кБк/м³ к 04.06.2025 г., далее возвращается к прежнему значению к 09.06.2025 г. Повышенный уровень ОАР сохраняется до 03.07.2025 г. (12.8 кБк/м³), после чего уменьшается до 6.6 кБк/м³ к 13.07.2025 года. В данных YSSR наблюдается

сходная картина – с 05.05. по 11.05.2025 г. начинается рост с 6 до 8.9 кБк/м³. Значение ОАР сохраняется до 15.06.2025 г. (7.8 кБк/м³), после чего постепенно убывает и достигает прежнего значения к 05.07.2025 г. (4.8 кБк/м³). Следует отметить кратковременное увеличение ОАР на станции YSSR с 05.07. по 16.07.2025 г., когда значения увеличивались с 4.8 до 6.5 кБк/м³ к 11.07.2025 года. В данных YSSR также наблюдается положительный пик ОАР 04.06.2025 г. (9.3 кБк/м³) аналогично вариациям на FRSV.

Рассмотрим корреляцию изменения ОАР и значения атмосферного давления по данным метеостанций, ближайших к пунктам измерений ОАР (рис. 5б,в). Повышение уровня ОАР нельзя объяснить влиянием атмосферного давления, так как за период роста ОАР в течение мая–июля 2025 г. атмосферное давление изменяется в широких пределах при сохранении высокого значения ОАР. Например, на FRSV (рис. 5в) 21.05.2025 г. наблюдается увеличение атмосферного давления с 752 до 760 мм рт.ст., при этом в данных ОАР значение не уменьшается, а наблюдается рост. Во время максимального увеличения ОАР (04.06.2025 г.) на FRSV давление уменьшается до 750 мм рт.ст., что могло бы объяснить сильное повышение ОАР, однако низкие значения атмосферного давления наблюдаются и в другие периоды, и таких высоких выбросов ОАР не наблюдается. Описанное для FRSV также относится и к вариациям на YSSR (рис. 5б). Исключением является пик 04.06.2025 г., когда наблюдается уменьшение атмосферного давления до 742 мм рт.ст. Также стоит отметить всплеск ОАР на YSSR 11.07.2025 г., который не объясняется вариациями атмосферного давления, так как оно в этот момент возрастает до 754 мм рт.ст. Таким образом, анализ данных

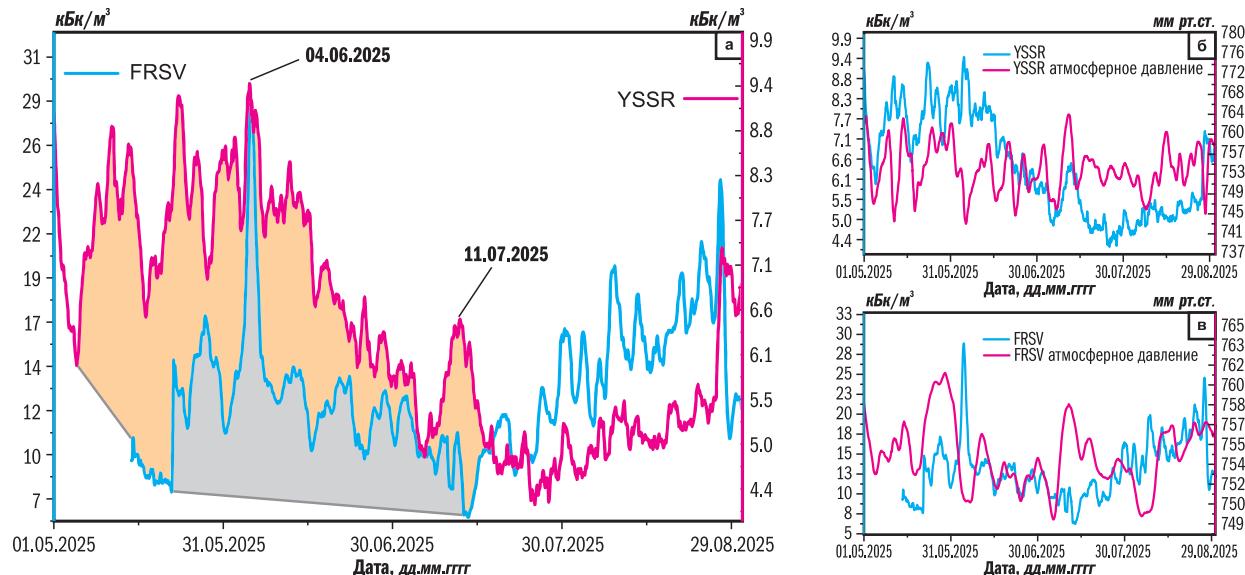


Рис. 5. Слева – вариации ОАР на пунктах YSSR и FRSV с 01.05. по 31.05.2025 г. (а);
справа – вариации ОАР на пунктах YSSR (б) и FRSV (в) и изменения атмосферного давления.

Цветом закрашены аномальные периоды в данных ОАР

на двух удалённых станциях выявил синхронное увеличение значений ОАР, которое, с большей вероятностью, не связано с локальными сторонними возмущениями, в том числе атмосферным давлением. Существует вероятность наличия сезонных вариаций в рассмотренных пунктах наблюдений, однако на имеющихся по длительности рядах оценить её невозможно.

С целью сопоставления с данными геофизических измерений проведён анализ землетрясений, произошедших в период с 01.05. по 31.05.2025 года. В указанные даты, по данным оперативного каталога Регионального информационно-обрабатывающего центра (РИОЦ) «Южно-Сахалинск» [Щукин, Костылев, 2021], на юге острова зарегистрировано 151 землетрясение с магнитудами ML от 0.4 до 2.8 (рис. 3).

Из списка землетрясений, вынесенных на карту (рис. 3), вызывают интерес три события с $ML \geq 2.2$ (выделены красным цветом), эпицентры которых расположены вблизи пунктов мониторинга геофизических полей. Прежде всего на себя обращает внимание дуплет землетрясений с $ML=2.2$ (№ 1 от 29.06.2025 г. в 13:05:33 и № 2 от 30.06.2025 г. в 01:23:58) в зоне ВОЗ D3, причём условно можно говорить о её краях. Выполненный расчёт механизмов землетрясений (№ 1 – сброс, № 2 – взброс) соответствует сбросо-взбросовой системе ЦСР и позволяет говорить о напряжении всего данного сегмента ЦСР. Третье сейсмическое событие (№ 3 от 01.08.2025 г. в 14:25:35, $ML=2.4$) по типу механизма соответствует второму

(взброс). Несмотря на незначительную магнитуду, все три события ощущались населением, и для них имеются данные о макросейсмическом воздействии. В связи с отсутствием сейсмических станций в г. Аниве и близлежащих посёлках, авторы не могут предоставить сведения об инструментально определённой интенсивности в этих населённых пунктах. Но по сообщениям из средств массовой информации можно представить общую картину воздействия описываемых сейсмических событий на местных жителей. По информации ИА «АСТВ» [Землетрясение на Сахалине ..., 2025], землетрясение произошло на юге острова в ночь на 30 июня. По данным сейсмостанции «Южно-Сахалинск», подземный толчок интенсивностью 2–3 балла могли ощутить жители четырёх населённых пунктов. Сейсмическое событие зафиксировано в 00:05 в координатах 46.8°N и 142.4°E , глубина – 11 км, магнитуда – 2.2. Эпицентр располагался в 11 км юго-западнее села Огоньки. Землетрясение ощутили в г. Аниве и сёлах Огоньки, Петропавловское и Благовещенское. Вместе с тем в редакцию АСТВ.ru поступило одно неофициальное сообщение о том, что землетрясение ощутили на верхнем этаже одного из многоквартирных домов в г. Невельске. Ощущимость второго и третьего событий, по данным опроса населения, составила также 2–3 балла.

Параметры вышеперечисленных землетрясений сведены в табл. 2. Дополнительно были рассчитаны эпицентрические расстояния до пунктов геофизических измерений.

Таблица 2. Параметры землетрясений с $M \geq 2.2$ в период с 01.05. по 31.08.2025 г. и эпицентральные расстояния до пунктов мониторинга геофизических параметров

№	Дата, дд.мм.гггг	Время в очаге, чч.мм:сс	Координаты эпицентра ϕ , °N; λ , °E	h , км	ML	YSSR Δ , км	FRSV Δ , км	KKHR Δ , км
1	29.06.2025	13:05:33	46.83; 142.36	11	2.2	35	91	42
2	30.06.2025	01:23:58	47.35; 142.47	12	2.2	51	34	90
3	01.08.2025	14:25:35	47.17; 142.67	14	2.4	29	54	84

Рассмотрим вариации ЭТП и ОАР во время землетрясений из табл. 1. Рост ЭТП на YSSR с 15.06.2025 г. начинается за 15 суток до событий № 1 и № 2. Кроме того, несмотря на понижение уровня поля 08.07.2025 г., оно остаётся высоким и перед событием № 3. Идентичный рост с начала мая наблюдается в данных ЭТП на KKHR. Здесь стоит обратить внимание, что эпицентр события № 1 находится в 35 и 42 км от станций YSSR и KKHR, то есть попадает в общий радиус 50 км от двух станций. События № 2 и № 3 находятся в том же радиусе для YSSR (№ 2 на 1 км дальше), а для KKHR расстояния составляют уже 90 и 84 км. Полученный результат согласуется с прошлой работой [Стобун и др., 2025] по анализу вертикальной ЭТП, где аномальные периоды совпадали не только с общей активизацией сейсмичности юга Сахалина, но и фиксировались близкие сейсмические события в пределах зоны в 50 км. Общее увеличение ОАР с мая 2025 г. происходит перед событиями № 1 и № 2. Понижение уровня ОАР как раз приходится на 3–5 июля, через неделю после данных землетрясений. Отдельно стоит рассмотреть кратковременные увеличения ОАР 04.06. и 11.07.2025 года. Пик 04.06.2025 г. на FRSV превышает фоновое значение (10–14 кБк/м³) в 2.5 раза. Для вариаций ОАР такие всплески являются достаточно редким событием. Данный рост может быть связан с подготовкой сейсмических событий, в особенности № 2, так как его эпицентр находится в 34 км от станции. На YSSR также наблюдается экстремум в те же сутки, но он менее выражен по отношению к фону и, как было сказано ранее, может быть связан с изменениями метеорологических параметров в этот период. Рост ОАР 11.07.2025 г. на YSSR может быть объяснён подготовкой сейсмического события № 3. Он закончился 16.07.2025 г., за 17 дней до землетрясения. Отсутствие такого увеличения на FRSV можно объяснить удалённостью эпицентра данного события от станции. Эпицентр события № 3 находится в 29 км от YSSR,

в то время как для FRSV расстояние составляет 54 км, что в 1.8 раза больше. Общего увеличения на двух пунктах ОАР, как фиксировалось в мае–июле перед событием № 3, не наблюдается. В целом наблюдаемые вариации ОАР согласуются с ранее проведёнными работами по мониторингу ОАР в сейсмоактивных регионах. Так, например, многолетние исследования, проведённые на Камчатке [Фирстов, Макаров, 2018], показывали увеличение уровня ОАР за сутки–недели до сейсмических событий. Общее увеличение ОАР и ЭТП наблюдается одновременно в период с мая по июль, это позволяет утверждать, что описываемые вариации связаны с подготовкой сейсмических событий.

Описанные нами события, включая аномалии некоторых геофизических полей, могли бы коррелировать с общим уровнем сейсмической активности. Для анализируемого периода (четыре месяца) на основании оперативного каталога были выполнены расчёты сейсмической активности (количество землетрясений за выбранный период времени) методом скользящего окна (30 и 45 суток, шаг два дня) (рис. 6).

В целом на обоих графиках прослеживается схожая картина. В третьей декаде июня 2025 г. начинается резкий рост активности, которая выходит на свой максимум в конце месяца и полностью коррелирует с изменениями ЭТП на обоих пунктах. Если в пункте «Колхозное» вторая кривая достаточно умеренного роста, то в пункте «Южно-Сахалинск» она практически полностью повторяет рост кривой активности.

Примечательно, что в конце июля 2025 г. сейсмическая активность на юге острова начала спадать, однако она не вернулась до конца на изначальный уровень, а сохраняет некую устойчивость. При этом данные по ЭТП показывают продолжающийся аномальный период, следовательно, можно ожидать сохранения повышенного уровня сейсмической активности. Из полученных результатов следует, что сейсмическая обстановка по-прежнему неустойчива. Таким образом, логично полагать, что прогноз не только

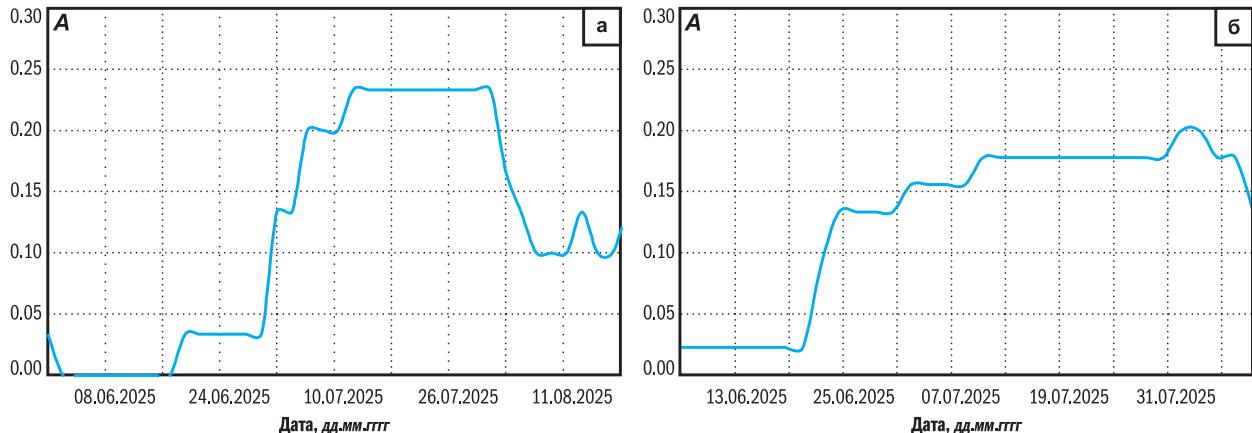


Рис. 6. Уровень сейсмической активности методом скользящего окна с параметрами 30 суток (а) и 45 суток (б)

актуален, но и вполне вероятно будет реализован в сроки, заявленные в работе [Zakupin et al., 2024], и согласно принятому прогнозу СФ РЭС (Протокол № 2 Сахалинского филиала Российского экспертного совета по прогнозу землетрясений от 9 апреля 2025 г.), то есть до конца 2025 года.

Заключение

Для выделенных зон действующего среднесрочного прогноза землетрясений на юге Сахалина проведён экспресс-анализ данных с пунктов регистрации электротеллурических потенциалов и объёмной активности радона в подпочвенном воздухе, которые находятся в зоне действия среднесрочного прогноза на сегментах ЗСР и ЦСР. В июне 2025 г. на пунктах измерения ЭТП в с. Колхозном (Невельский район, ЗСР) и в Южно-Сахалинске (ЦСР) наблюдались аномалии вертикальных компонент ЭТП, которые характеризуют периоды высокой сейсмической активности, что подтверждается анализом локальной сейсмичности в южной части Сахалина. Данные по параметру LURR были обновлены до июля 2025 г. и показали, что существенных изменений в 2025 г. не произошло, а единственные за последние пять лет аномалии фиксировались в середине 2023 года. По комплексу рассмотренных параметров сделан вывод о сохранении опасности сильного землетрясения в южной части о. Сахалин.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-00604-25) и с использованием данных, полученных на уникальной научной установке «Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерыв-

ного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира» (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

Литература

Закупин А.С., Богинская Н.В. Среднесрочные прогнозы землетрясений методом LURR на Сахалине: обобщение ретроспективных исследований за 1997–2019 гг. и новые подходы // Геосистемы переходных зон. – 2021. – Т 5, № 1. – С. 27–45. – DOI: 10.30730/gtrz.2021.5.1.027-045. – EDN: PBJTCV

Землетрясение на Сахалине могли ощутить жители четырёх населённых пунктов // ИА «АСТВ» [сайт]. – URL: <https://astv.ru/news/criminal/2025-06-30-zemletryasenie-na-sahaline-podzemnyj-tolchok-mogli-oshutit-zhiteli-chetyrekh-naselennyh-punktov> (дата обращения 30.06.2025).

Козлова И.А., Юрков А.К., Бирюлин С.В. Применение вариаций объёмной активности почвенного радона при изучении геодинамических процессов // Геология и геофизика. – 2025. – Т. 66, № 6. – С. 734–743. – DOI: 10.15372/GiG2024185. – EDN: LJHEVZ

Косарев И.Б., Спивак А.А. Взаимодействие эманационного поля радона и электрического поля на границе земная кора-атмосфера // Динамические процессы в геосферах. – 2012. – № 3. – С. 108–114. – EDN: TMWTWF

Левин Б.В., Ким Ч.У., Соловьёв В.Н. Оценка сейсмической опасности и результаты детального сейсмического районирования для городов о. Сахалин // Тихookeанская геология. – 2012. – Т 31, № 5. – С. 93–103. – EDN: PGYCUR

Макаров Е.О., Костылев Д.В., Фирстов П.П., Каменев П.А., Богинская Н.В. Отклик в поле подпочвенного радона на землетрясение 23.01.2020 г.

с $M_L=4.2$ в заливе Анива вблизи острова Сахалин // Вулканизм и связанные с ним процессы: Материалы XXIII ежегодной научной конференции, посвящённой Дню вулканолога, Петропавловск-Камчатский, 30 марта – 01 апреля 2020 года. – Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2020. – С. 114–117. – EDN: ONRIQI

Макаров Е.О., Фирстов П.П., Костылев Д.В., Рылов Е.С., Дудченко И.П. Первые результаты мониторинга подпочвенного радона сетью пунктов, работающей в тестовом режиме, на юге острова Сахалин // Вестник КРАУНЦ. Физико-математические науки. – 2018. – № 5(25). – С. 99–114. – DOI: 10.18454/2079-6641-2018-25-5-99-114. – EDN: SNZAFN

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

Оскорбин Л.С. Сейсмогенные зоны Сахалина и со-предельных областей // Проблемы сейсмической опасности Дальневосточного региона. – Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 1997. – С. 154–178.

Поплавская Л.Н., Иващенко А.И., Оскорбин Л.С., Нагорных Т.В., Пермикин Ю.Ю., Поплавский А.А., Фокина Т.А., Ким Ч.У., Краева Н.В., Рудик М.И. и др. Региональный каталог землетрясений острова Сахалин, 1905–2005 гг. – Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2006. – 103 с.

Рождественский В.С., Сапрыгин С.М. Активные разломы и сейсмичность на Южном Сахалине // Тихоокеанская геология. – 1999. – Т. 18, № 6. – С. 59–70.

Сафонов Д.А., Фокина Т.А., Костылев Д.В. Сейсмичность Приамурья и Приморья, Сахалина и Курило-Охотского региона в 2020 году // Землетрясения Северной Евразии. – 2024. – Вып. 27 (2020). – С. 148–161. – DOI: 10.35540/1818-6254.2024.27.13. – EDN: GWQRAP

Соболев Г.А., Демин В.М. Механоэлектрические явления в Земле. – М.: Наука, 1980. – 215 с.

Соловьев С.Л. Сахалин // Сейсмическое районирование СССР, гл. XVI. – М.: Наука, 1968. – С. 390–407.

Соловьев С.Л., Оскорбин Л.С. Сейсмичность и сейсмотектоника Сахалина // Строение и развитие земной коры на советском Дальнем Востоке. – М.: Наука, 1969. – С. 111–126.

Соловьев С.Л., Оскорбин Л.С. Схема сейсмического районирования Сахалина // Сейсмическое районирование Сахалина. – Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1977. – С. 52–63.

Соловьев С.Л., Оскорбин Л.С., Ферчев М.Д. Землетрясения на Сахалине. – М.: Наука, 1967. – 180 с.

Стобун Н.С., Закупин А.С., Богомолов Л.М., Костылев Д.В., Дудченко И.П., Гуляков С.А. Вариации вертикальной компоненты электротеллурического поля на Южно-Сахалинском геофизическом полигоне в 2024 году // Геосистемы переходных зон. – 2025. – Т 9, № 2. – С. 125–144. – DOI: 10.30730/gtrz.2025.9.2.125-144. – EDN: RRJEOC

Фирстов П.П., Макаров Е.О. Динамика подпочвенного радона на Камчатке и сильные землетрясения. – Петропавловск-Камчатский: Камчатский государственный университет им. Витуса Беринга, 2018. – 148 с. – EDN: VXTMDH

Щукин М.А., Костылев Д.В. Информационная система СФ ФИЦ ЕГС РАН // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Тезисы XV Международной сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2021. – С. 108. – EDN: UFTIRA

Юшко В.А. Многомерный анализ временных рядов электротеллурических данных на пункте Верхняя Паратурка (Камчатка) // Вестник Камчатской региональной ассоциации Учебно-научный центр. Серия: Науки о Земле. – 2007. – № 1(9). – С. 159–168. – EDN: IAGJKV

Firstov P.P., Makarov E.O. Long-term trends of sub-soil radon in Kamchatka as indicators for the preparation of earthquakes with $M>7.5$ at the northwestern framing of the Pacific Ocean // Geosystems of Transition Zones. – 2020. – V. 4, N 3. – P. 270–287. – DOI: 10.30730/gtrz.2020.4.3.270-278.279-287. – EDN: IFNQVP

Helman D.S. Seismic electric signals (SES) and earthquakes: A review of an updated VAN method and competing hypotheses for SES generation and earthquake triggering // Physics of the Earth and Planetary Interiors. – 2020. – V. 302. – A. 106484. – DOI: 10.1016/j.pepi.2020.106484

Li M., Lu J., Parrot M., Tan H., Chang Y., Zhang X., Wang Y. Review of unprecedented ULF electromagnetic anomalous emissions possibly related to the Wenchuan $MS=8.0$ earthquake, on 12 May 2008 // Natural Hazards and Earth System Science. – 2013. – V. 13. – P. 279–286. – DOI: 10.5194/nhess-13-279-2013

Moroz Y.F., Moroz T.A. A study in the dynamics of the geoelectrical medium from electrotelluric field data // Journal of Volcanology and Seismology. – 2009. – V. 3, N 1. – P. 34–43. – DOI: 10.1134/S0742046309010047

Salikhov N.M., Pak G.D., Shepetov A.L. et al. Hardware-software complex for the telluric current investigation in a seismically hazardous region of Zailiysky Alatau // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences. – 2021. – V. 5, N 449. – P. 94–102. – DOI: 10.32014/2021.2518-170x.103. – EDN: KLIMDH

Tikhonov I.N., Rodkin M.V. Earthquake research and analysis // Statistical studies, observations and planning / Ed. Dr. S. D'Amico. – Rijeka, Croatia: InTech Publ., 2012. – P. 43–78.

Yin X.C., Xuezhong C., Ziping S., Can Y. A new approach to earthquake prediction: The Load/Unload Response Ratio (LURR) theory // Pure and Applied Geophysics. – 1995. – V. 145, N 3/4. – P. 701–715. – DOI: 10.1007/BF00879596

Zakupin A.S., Bogomolov L.M., Boginskaya N.V. Using the Load/Unload Response Ratio and self-develop-

ing processes methods of analyzing seismic sequences to predict earthquakes in Sakhalin // Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics. – 2020. – V. 56, N 7. – P. 693–705. – DOI: 10.1134/S0001433820070105

Zakupin A.S., Kazakov A.I., Stovbun N.S., Gulyakov S.A., Andreeva M.Yu., Zherdeva O.A. On the possible relationship between magnetic storms and earthquakes in certain tectonic conditions (using the example of Sakhalin) // Geosystems of Transition Zones. – 2024. – V. 8, N 3. – P. 161–173. – DOI: 10.30730/gtrz.2024.8.3.161-173. – EDN: NBFGES

Сведения об авторах

Закупин Александр Сергеевич, канд. физ.-мат. наук, зам. директора Сахалинского филиала Федерального государственного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук» (СФ ФИЦ ЕГС РАН), г. Южно-Сахалинск, Россия; вед. науч. сотр. Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИМГиГ ДВО РАН), г. Южно-Сахалинск, Россия. ORCID: 0000-0003-0593-6417. E-mail: dikii79@mail.ru

Костылев Дмитрий Викторович, канд. техн. наук, директор СФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Южно-Сахалинск, Россия; науч. сотр. ИМГиГ ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск, Россия. ORCID: 0000-0002-8150-9575. E-mail: d.kostylev@imgg.ru

Стовбун Николай Сергеевич, инженер СФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Южно-Сахалинск, Россия; науч. сотр. ИМГиГ ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск, Россия. ORCID: 0009-0004-1927-798X. E-mail: n1kolay19971997@yandex.ru

Костылева Наталья Владимировна, канд. техн. наук, инженер СФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Южно-Сахалинск, Россия; науч. сотр. ИМГиГ ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск, Россия. ORCID: 0000-0002-3126-5138. E-mail: n.kostyleva@imgg.ru

Rapid assessment of seismic hazard in the southern part of Sakhalin Island based on a set of geophysical data based on the current medium-term forecast

© 2025 A.S. Zakupin^{1,2}, D.V. Kostylev^{1,2}, N.S. Stovbun^{1,2}, N.V. Kostyleva^{1,2}

¹SB GS RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia; ²IMGG FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

Received September 24, 2025

Abstract The possibility of implementing a medium-term earthquake forecast using the LURR method in the southern part of Sakhalin Island in certain segments of the West Sakhalin and Central Sakhalin faults is considered in light of the medium-term strong earthquake forecast mode ($M=5.5 (\pm 0.5)$) currently in effect for the central and southern parts of Sakhalin Island (within the latitude range from 47°N to 49.5°N, longitude range from 141.5°E to 143°E) (Protocol No. 2 of the Sakhalin Branch of the Russian Expert Council on Earthquake Prediction dated April 9, 2025). The assessments were carried out within the framework of a two-stage approach to seismic event forecasting, when previously identified medium-term forecast zones using the calculation method are refined using short-term geophysical methods. For the short-term assessment stage, the study used data from electrotelluric potential (vertical component) and subsurface radon volumetric activity measurement sites within the medium-term forecast coverage area. It was shown that in 2025, synchronous increases in electrotelluric potentials were observed at electrotelluric potential measurement sites in the village of Kolkhoznoye (Nevelsky District) and in Yuzhno-Sakhalinsk, which characterizes periods of high seismic activity. Furthermore, anomalies were detected based on subsurface radon volumetric activity measurements at sites in Yuzhno-Sakhalinsk and Firsovo before the earthquake activation in late June 2025 (a double earthquake near Aniva and Bykov). Updated LURR data (July 2025) showed that the only anomalies over the past five years were recorded in mid-2023. Although this study does not identify short-term precursors, it does provide additional data on the persistence of unstable conditions and confirms the relevance of the proposed medium-term forecast based on direct geophysical measurements.

Keywords Earthquake, forecast, focal mechanism, electrotelluric potential, subsurface radon.

For citation Zakupin, A.S., Kostylev, D.V., Stovbun, N.S., & Kostyleva, N.V. (2025). [Rapid assessment of seismic hazard in the southern part of Sakhalin Island based on a set of geophysical data based on the current medium-term forecast]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Seismology], 7(4), 83-95. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2025.4.09>. EDN: ZGCPQS

References

- Firstov, P.P., & Makarov, E.O. (2018). *Dinamika podpochvennogo radona na Kamchatke i sil'nye zemletryaseniia* [Subsurface radon dynamics in Kamchatka and strong earthquakes]. Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia: Vitos Bering Kamchatka State University Publ., 148 p. (In Russ.). EDN: VXTMDH
- Firstov, P.P., & Makarov, E.O. (2020). Long-term trends of subsoil radon in Kamchatka as indicators for the preparation of earthquakes with $M>7.5$ at the northwestern framing of the Pacific Ocean. *Geosystems of Transition Zones*, 4(3), 270-287. DOI: [10.30730/gtrz.2020.4.3.270-278.279-287](https://doi.org/10.30730/gtrz.2020.4.3.270-278.279-287). EDN: IFNQVP
- Helman, D.S. (2020). Seismic electric signals (SES) and earthquakes: A review of an updated VAN method and competing hypotheses for SES generation and earthquake triggering. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 302:106484. DOI: [10.1016/j.pepi.2020.106484](https://doi.org/10.1016/j.pepi.2020.106484)
- Iushko, V.A. (2007). [Multidimensional analysis of time series of electrotelluric data at the Verkhnyaya Paratunka point (Kamchatka)]. *Vestnik Kamchatskoi regional'noi assotsiatii "Uchebno-nauchnyi tsentr"*. Seriya: Nauki o Zemle [Bulletin of the Kamchatka Regional Association “Educational-Scientific Center”. Series: Earth Sciences], (1(9)), 159-168. (In Russ.). EDN: IAGJKV
- Kondorskaya, N.V., & Shebalin, N.V. (Eds.). (1977). *Novyj katalog sil'nyh zemletryasenij na territorii SSSR s drevnejshih vremyon do 1975 g.* [New catalogue of strong earthquakes on the territory of the USSR from ancient times to 1975]. Moscow, Russia: Nauka Publ., 536 p. (In Russ.).
- Kosarev, I.B., & Spivak, A.A. (2012). [Interaction of the radon emanation field and the electric field at the boundary of the earth's crust-atmosphere]. *Dinamicheskie protsessy v geosferakh* [Dynamic Processes in Geospheres], (3), 108-114. (In Russ.). EDN: TMWTWF

- Kozlova, I.A., Iurkov, A.K., & Biriulin, S.V. (2025). [Application of variations in the volumetric activity of soil radon in the study of geodynamic processes]. *Geologija i geofizika* [Geology and Geophysics], 66(6), 734–743. (In Russ.). DOI: 10.15372/GiG2024185. EDN: LJHEVZ
- Levin, B.V., Kim, C.U., & Soloviev, V.N. (2012). [Seismic hazard estimate and results of detailed seismic zoning for the cities of Sakhalin island]. *Tikhookeanskaia geologija* [Pacific geology], 5(31), 93–103. (In Russ.). EDN: PGYCUR
- Li, M., Lu, J., Parrot, M., Tan, H., Chang, Y., Zhang, X., & Wang, Y. (2013). Review of unprecedented ULF electromagnetic anomalous emissions possibly related to the Wenchuan MS=8.0 earthquake, on 12 May 2008. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 13, 279–286. DOI: 10.5194/nhess-13-279-2013
- Makarov, E.O., Firstov, P.P., Kostylev, D.V., Rylov, E.S., & Dudchenko, I.P. (2018). [Initial results from ground-water radon monitoring at a network of test sites in southern Sakhalin Island]. *Vestnik KRAUNTS. Fiziko-matematicheskie nauki* [Bulletin KRASEC. Physical and Mathematical Sciences], (5(25)), 99–114. (In Russ.). DOI: 10.18454/2079-6641-2018-25-5-99-114. EDN: SNZAFN
- Makarov, E.O., Kostylev, D.V., Firstov, P.P., Kamenev, P.A., & Boginskaya, N.V. (2020). [Response in the subsurface radon field to the earthquake of January 23, 2020, with ML=4.2 in Aniva Bay near Sakhalin Island]. In *Vulkanizm i sviazannye s nim protsessy: Materialy XXIII ezhегодной научной конференции, посвященной Дню вулканолога, Петропавловск-Камчатский, 30 марта – 01 апреля 2020 года* [Volcanism and related processes: Proceedings of the XXIII annual scientific conference dedicated to Volcanologist's Day, Petropavlovsk-Kamchatsky, March 30 – April 1, 2020] (pp. 114–117). Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia: IVS FEB RAS Publ. (In Russ.). EDN: ONRIQI
- Moroz, Y.F., & Moroz, T.A. (2009). A study in the dynamics of the geoelectrical medium from electrotelluric field data. *Journal of Volcanology and Seismology*, 3(1), 34–43. DOI: 10.1134/S0742046309010047
- Oskorbin, L.S. (1997). [Seismogenic zones of Sakhalin and adjacent regions]. In *Problemy seismicheskoi opasnosti Dal'nevostochnogo regiona* [Seismic hazard issues in the Far East] (pp. 154–178). Yuzhno-Sakhalinsk, Russia: IMGG FEB RAS Publ. (In Russ.).
- Poplavskaya, L.N., Ivashchenko, A.I., Oskorbin, L.S., Nagornykh, T.V., Permikin, Yu.Yu., Poplavsky, A.A., Fokina, T.A., Kim, Ch.U., Kraeva, N.V., Rudik, M.I., et al. (2006). *Regional'nyi katalog zemletriasenii ostrova Sakhalin, 1905–2005 gg.* [Regional catalog of earthquakes of Sakhalin Island, 1905–2005]. Yuzhno-Sakhalinsk, Russia: IMGG FEB RAS Publ., 103 p. (In Russ.).
- Rozhdestvensky, V.S., & Saprygin, S.M. (1999). [Active faults and seismicity in South Sakhalin]. *Tikhookeanskaia geologija* [Pacific Geology], 18(6), 59–70. (In Russ.).
- Safonov, D.A., Fokina, T.A., & Kostylev, D.V. (2024). [Seismicity in the Amur and Primorsky regions, Sakhalin, and the Kuril-Okhotsk region in 2020]. *Zemletriasenii Severnoi Evrazii* [Earthquakes of Northern Eurasia], 27(2020), 148–161. Obrinsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.). DOI: 10.35540/1818-6254.2024.27.13. EDN: GWQRAP
- Salikhov, N.M., Pak, G.D., Shepetov, A.L. et al. (2021). Hardware-software complex for the telluric current investigation in a seismically hazardous region of Zailiysky Alatau. *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences*, 5(449), 94–102. DOI: 10.32014/2021.2518-170x.103. EDN: KLIMDH
- Shchukin, M.A., & Kostylev, D.V. (2021). [Information system of the SB GS RAS]. In *Materialy XV Mezhdunarodnoi seismologicheskoy shkoly "Sovremennyye metody obrabotki i interpretatsii seismologicheskikh dannykh"* [Proceedings of the XV International Seismological Workshop "Modern Methods of Processing and Interpretation of Seismological Data"] (pp. 108–108). Obrinsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.). EDN: UFTIRA
- Sobolev, G.A., & Demin, V.M. (1980). *Mekhanoelektricheskie явления в Земле* [Mechanoelectrical phenomena in the Earth]. Moscow, Russia: Nauka Publ., 215 p. (In Russ.).
- Soloviev, S.L., & Oskorbin, L.S. (1969). [Seismicity and seismotectonics of Sakhalin]. In *Stroenie i razvitiye zemnoi kory na sovetskem Dal'nem Vostoke* [Structure and development of the earth's crust in the Soviet Far East] (pp. 111–126). Moscow, Russia: Nauka Publ. (In Russ.).
- Soloviev, S.L., & Oskorbin, L.S. (1977). [Seismic zoning scheme of Sakhalin]. In *Seismicheskoe raionirovanie Sakhalina* [Seismic zoning of Sakhalin] (pp. 52–63). Vladivostok, Russia: Far Eastern Scientific Center of the AS USSR Publ. (In Russ.).
- Soloviev, S.L., Oskorbin, L.S., & Ferchev, M.D. (1967). *Zemletriasenii na Sakhaline* [Earthquakes in Sakhalin]. Moscow, Russia: Nauka Publ., 180 p. (In Russ.).
- Solov'yev, S.L. (1968). [Sakhalin]. In *Seismicheskoe raionirovanie SSSR, gl. XVI* [Seismic zoning of the USSR, ch. XVI] (pp. 390–407). Moscow, Russia: Nauka Publ. (In Russ.).
- Stovbun, N.S., Zakupin, A.S., Bogomolov, L.M., Kostylev, D.V., Dudchenko, I.P., & Gulyakov, S.A. (2025). [Variations in the vertical component of the electrotelluric field at the Yuzhno-Sakhalinsk geophysical test site in 2024]. *Geosistemy perekhodnykh zon* [Geosystems of Transition Zones], 9(2), 125–144. (In Russ.). DOI: 10.30730/gtrz.2025.9.2.125-144. EDN: RRJEOC

- Tikhonov, I.N., & Rodkin, M.V. (2012). Earthquake research and analysis. In *Statistical studies, observations and planning, Dr. S. D'Amico (Ed.)* (pp. 43-78). Rijeka, Croatia: InTech Publ.
- Yin, X.C., Xuezhong C., Ziping, S., & Can, Y. (1995). A new approach to earthquake prediction: The Load/Unload Response Ratio (LURR) Theory. *Pure and Applied Geophysics*, 145(3/4), 701-715. DOI: 10.1007/BF00879596
- Zakupin, A.S., & Boginskaya, N.V. (2021). [Mid-term earthquake prediction using the LURR method on Sakhalin island: a summary of retrospective studies for 1997-2019 and new approaches]. *Geosistemy perekhodnykh zon* [Geosystems of Transition Zones], 5(1), 27-45. (In Russ.). DOI: 10.30730/gtrz.2021.5.1.027-045. EDN: PBJTCV
- Zakupin, A.S., Bogomolov, L.M., & Boginskaya, N.V. (2020). Using the Load/Unload Response Ratio and self-developing processes methods of analyzing seismic sequences to predict earthquakes in Sakhalin. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, 56(7), 693-705. DOI: 10.1134/S0001433820070105
- Zakupin, A.S., Kazakov, A.I., Stobun, N.S., Gulyakov, S.A., Andreeva, M.Yu., & Zherdeva, O.A. (2024). On the possible relationship between magnetic storms and earthquakes in certain tectonic conditions (using the example of Sakhalin). *Geosystems of Transition Zones*, 8(3), 161-173. DOI: 10.30730/gtrz.2024.8.3.161-173. EDN: NBFGES
- Zemletryiasenie na Sakhaline mogli oshchutit' zhiteli chetyrekh naseleennykh punktov* [The earthquake on Sakhalin could be felt by residents of four settlements]. (2025). IA "ASTV", June 30, 2025. (In Russ.). Retrieved from <https://astv.ru/news/criminal/2025-06-30-zemletryiasenie-na-sahaline-podzemnyj-tolchok-mogli-oshutit-zhiteli-chetyreh-naseleennyh-punktov>

Information about authors

Zakupin Alexander Sergeevich, PhD, Deputy Director of the Sakhalin Branch of the Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences (SB GS RAS), Yuzhno-Sakhalinsk, Russia; Leading Researcher of the Institute of Marine Geology and Geophysics Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (IMGG FEB RAS), Yuzhno-Sakhalinsk, Russia. ORCID: 0000-0003-0593-6417. E-mail: dikii79@mail.ru

Kostylev Dmitry Viktorovich, PhD, Director of the SB GS RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia; Researcher of the IMGG FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia. ORCID: 0000-0002-8150-9575. E-mail: d.kostylev@imgg.ru.

Stobun Nikolay Sergeevich, Engineer of the SB GS RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia; Researcher of the IMGG FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia. ORCID: 0009-0004-1927-798X. E-mail: n1kolay19971997@yandex.ru

Kostyleva Natalya Vladimirovna, PhD, Engineer of the SB GS RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia; Researcher of the IMGG FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia. ORCID: 0000-0002-3126-5138. E-mail: n.kostyleva@imgg.ru