

**Институт морской геологии и геофизики
Дальневосточного отделения Российской академии наук.
Сведения о важнейших научных достижениях, полученных в 2020 году.**

1. Получены данные, характеризующие современную газогидротермальную активность одного из наиболее труднодоступных и малоизученных вулканов Южных Курильских островов – влк. Берутарубе (о. Итуруп). По результатам полевых работ, выполненных на вулкане в 2017 г., было установлено, что в настоящее время вулкан проявляет интенсивную сольфатарную и гидротермальную активность, локализованную в пределах трех основных участков в привершинной части постройки (Верхний, Центральный, Нижний). Максимальная температура парогазовых выходов составляет 96.6 °С, термальных вод – 80 °С. По химическому составу гидротермы вулкана Берутарубе отвечают ультракислым (рН 1.5), минерализованным, хлоридно-сульфатным водам со сложным катионным составом. Существенных изменений в характере газогидротермальной деятельности вулкана, по сравнению с результатами исследований предшествующих лет (1946, 1957, 1994–1996 гг.), не выявлено.

Публикации:

Degerev, A.V., Kozlov D.N., Zharkov R.V. Modern Postvolcanic Activity of Berutarube Volcano, Iturup Isl., the Kuril Islands // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. Vol. 459, Issue 2. Article Number 022037. DOI: 10.1088/1755-1315/459/2/022037

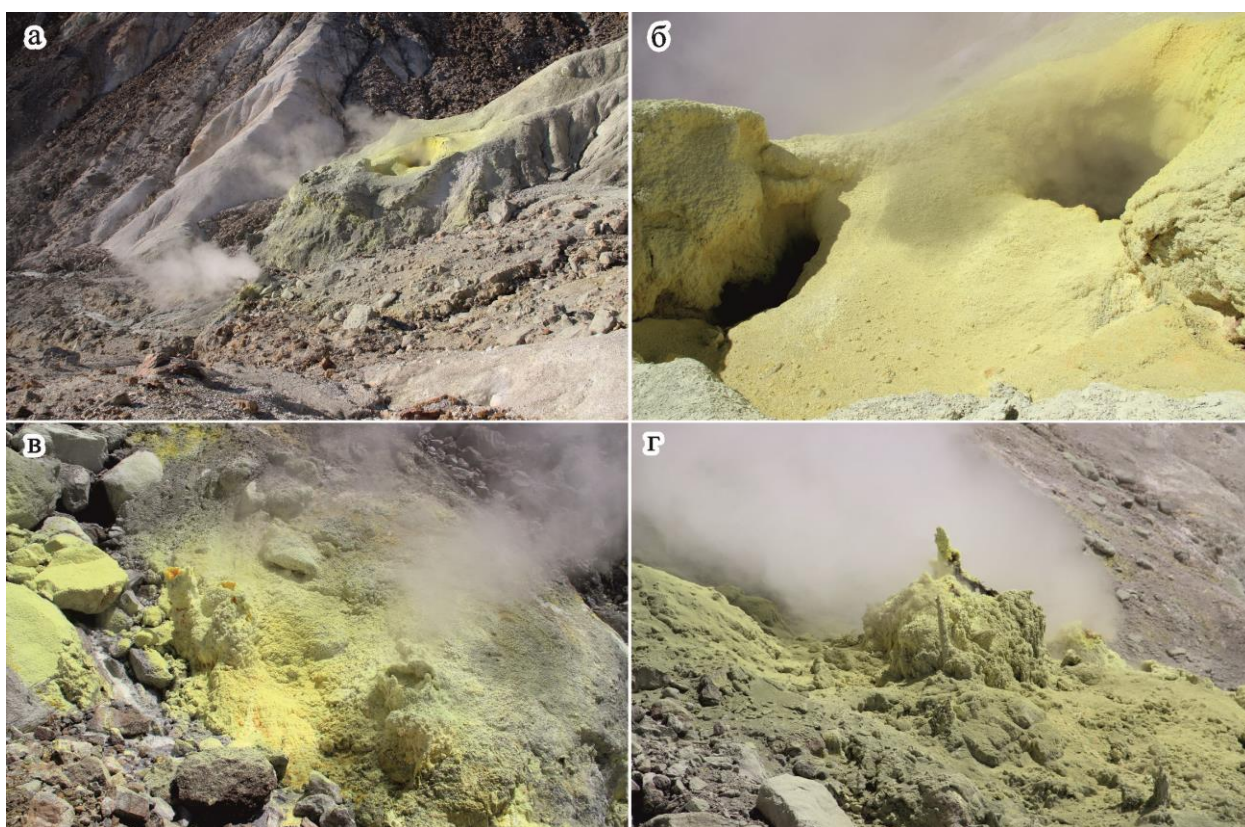


Рис. 1. Общий вид сольфатарных выходов участка Верхнего (а, б) и Центрального (в, г).

2. Выполнено обобщение и анализ данных об изотопном и химическом составе газов наземных грязевых вулканов мира (около 700 проб из более 270 вулканов). По нашим оценкам в грязевулканических резервуарах планеты содержится около 10 млрд. тонн углерода (в форме CO_2 и CH_4). Установлено, что газогеохимические показатели в разных регионах отличаются, что можно связать с разными геодинамическими обстановками. В регионах, приуроченных к зонам субдукции и проявлениям современной магматической активности, CH_4 в грязевулканических газах, как правило, имеет более тяжелый изотопный состав ($\delta^{13}\text{C}-\text{CH}_4$ от -35 до -25% PDB). Здесь же грязевые вулканы часто выделяют повышенное количество CO_2 , который предположительно имеет мантийный или метаморфический генезис. Показано, что по изотопному составу углерода CH_4 из грязевых вулканов во многом идентичен антропогенному CH_4 , поступающему в атмосферу при добыче ископаемого топлива. Это способствует большой неопределенности в оценках антропогенных выбросов при анализе глобального бюджета метана.

Публикации:

Ершов В.В., Бондаренко Д.Д. Характеристика изотопного и химического состава газов, выбрасываемых грязевыми вулканами из разных регионов мира // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геоэкология. 2020. № 3. С. 23-35. DOI: 10.31857/S0869780920030029

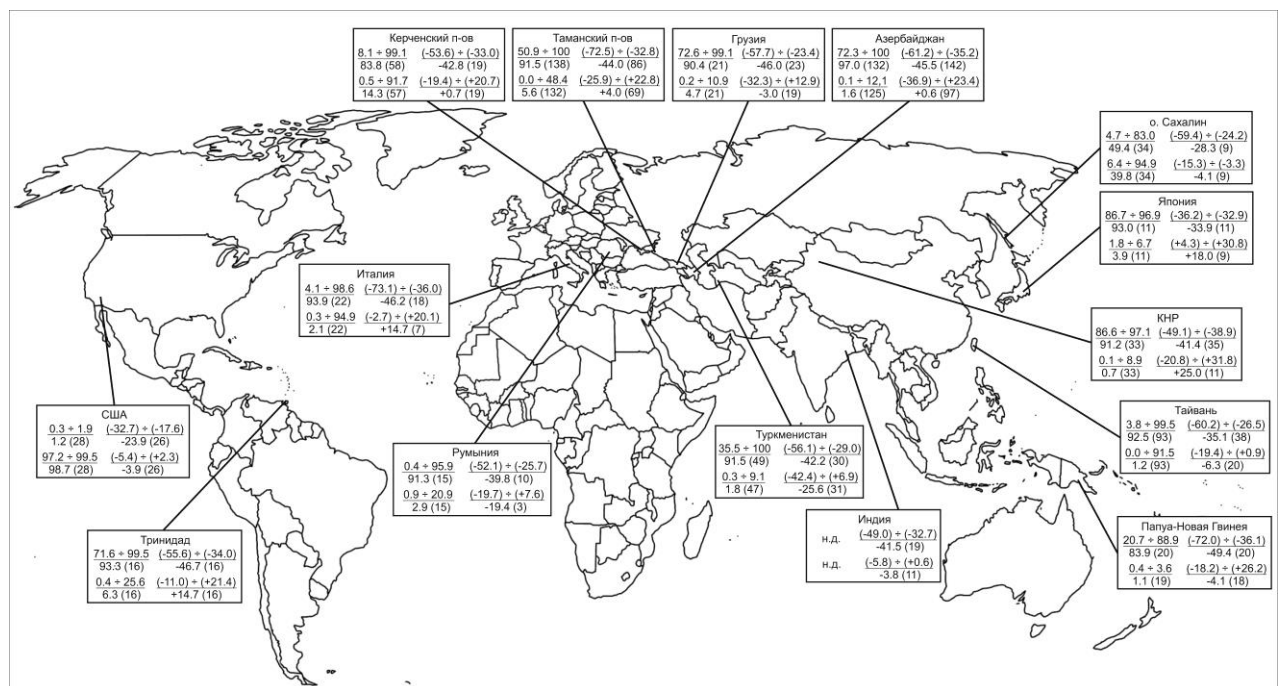


Рис. 2. Пространственное распределение изотопного и химического состава газов грязевых вулканов мира. Для каждого региона в верхней строке приведены данные о содержании CH_4 (об. %) и $\delta^{13}\text{C}-\text{CH}_4$ (‰ PDB), в нижней строке – о содержании CO_2 (об. %) и $\delta^{13}\text{C}-\text{CO}_2$ (‰ PDB). В числителе дроби указаны диапазоны колебаний значений, в знаменателе – оценка среднего значения (по медиане). Цифрами в скобках указано количество образцов, н.д. – нет данных.

3. Получены новые данные о современной геодинамике Курило-Камчатской зоны субдукции. Разнонаправленные движения GPS станций вдоль Курильских островов объясняются тем, что сегменты островной дуги находятся на разных стадиях сейсмического цикла. На основе анализа сейсмичности за период 1900–2018 гг. выполнена оценка сейсмического потенциала Курило-Камчатской зоны субдукции (рис. 3), уточнена геометрия межплитового сцепления Североамериканской и Тихоокеанской литосферных плит и скорость их сейсмического поддвига. Для выявления областей современного сейсмического дефицита в зоне субдукции предложен подход, основанный на кумулятивном смещении межплитовых землетрясений с $M_w \geq 7.0$. В совокупности с другими методами такой подход способствует более точной оценке сейсмической опасности региона.

Публикации:

Левин Б.В., Прытков А.С., Василенко Н.Ф., Фролов Д.И. Современный сейсмический дефицит в Курило-Камчатской зоне субдукции // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2020. Т. 491, № 2. С. 103-107. = Levin B.W., Prytkov A.S., Vasilenko N.F., Frolov D.I. The contemporary seismic deficit in the Kuril-Kamchatka subduction zone // Doklady Earth Sciences. 2020. Vol. 491, N 2. P. 277-281.

Vladimirova I.S., Lobkovsky L.I., Gabsatarov Y.V., Steblov G.M., **Vasilenko N.F.,** Frolov D.I., **Prytkov A.S.** Patterns of the Seismic Cycle in the Kuril Island Arc from GPS Observations // Pure and Applied Geophysics. 2020. Vol. 177, P. 3599–3617.

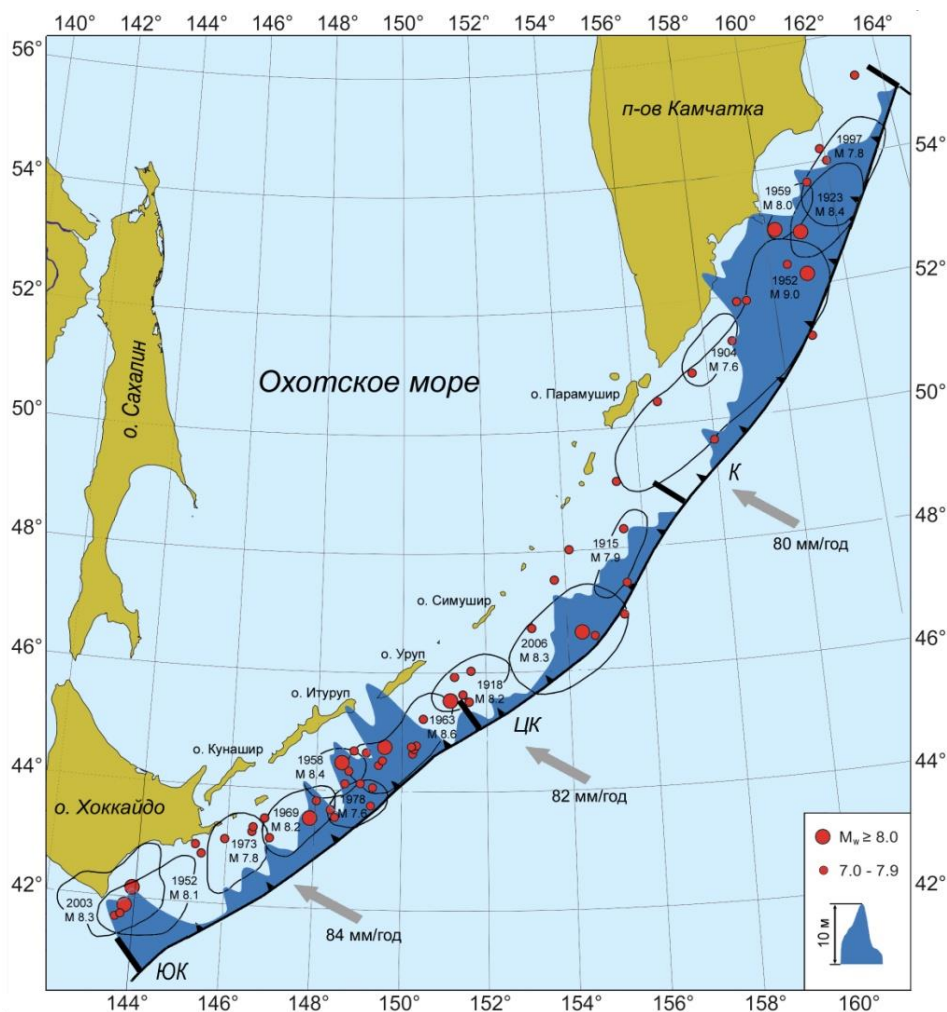


Рис. 3. Кумулятивное сейсмическое смещение межплитовых землетрясений с $M_w \geq 7.0$ за период 1900-2018 гг. в Курило-Камчатской зоне субдукции. Масштаб сейсмического смещения приведен во врезке. Показаны контуры очаговых зон землетрясений с $M_w \geq 7.5$.

4. Предложена новая составная модель распределения магнитуд землетрясений, статистически удовлетворительно описывающая их распределение как в диапазоне слабых и умеренных землетрясений (закон Гутенберга–Рихтера), так и в области сильнейших событий (обобщенный закон Парето, являющийся одним из предельных законов теории экстремальных значений). На примере Японии и Курил (по данным GСMT-каталога) показано, что модель хорошо описывает сейсмичность в кругах, содержащих не менее 80 основных событий в диапазоне уверенной регистрации $m \geq 5.3$. Использование указанной модели в разработанной авторами ранее статистической методике оценки сейсмического риска дает теоретическую базу для развития этой методике как в плане большей робастности результатов оценки сейсмичности, так и лучшего пространственного разрешения (рис. 4), приближающегося к масштабу карт общего сейсмического районирования.

Публикации:

Писаренко В.Ф., Родкин М.В., Рукавишникова Т.А. Стабильная модификация закона повторяемости землетрясений и перспективы ее применения в сейсмозонировании // Физика Земли. 2020. № 1. С. 1-14 = Pisarenko V.F., Rodkin M.V., Rukavishnikova T.A. Stable modification of frequency-magnitude relation and prospects for its application in seismic zoning // Izvestiya. Physics of the Solid Earth. 2020. Vol. 56. N 1. P. 53-65.

Pisarenko V.F., Rodkin M.V. Statistics and Spatial–Temporal Structure of Ground Acceleration Caused by Earthquakes in the North-Western Pacific // Pure and Applied Geophysics. 2020. Vol. 177, Issue 6. P. 2563-2578.

Родкин М.В. Типовая фор- и афтершоковая аномалия – эмпирика, интерпретация // Вулканология и сейсмология. 2020. № 1. С. 64-76.

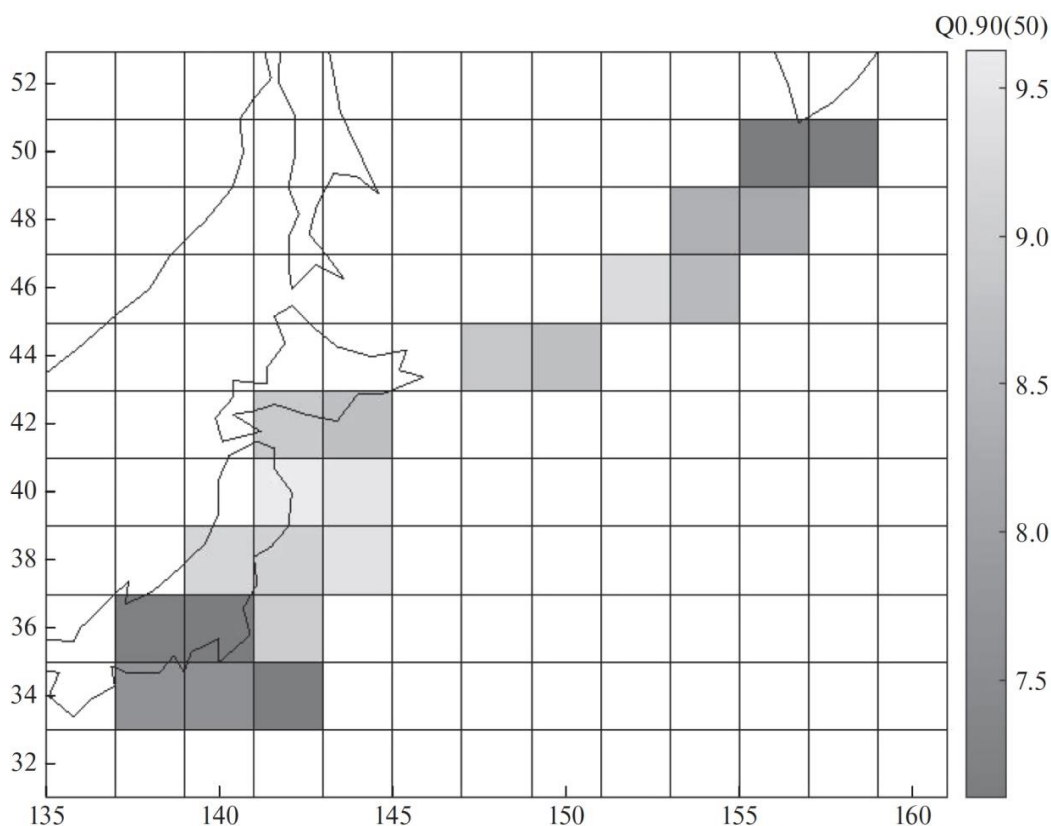


Рис. 4. Схема пространственного расположения значений квантиля $Q_{0.9}(50)$.

Пространственные вариации полученных значений квантилей отражают реальный сейсмический режим соответствующих участков зоны Бенъофа, в частности, максимальные значения квантиля оказались приурочены к области реализации мегаземлетрясения Тохоку (2011 г.).

5. Проанализирован характер сейсмичности перед Углегорским землетрясением 4 августа 2000 г. ($M_w = 6.7$), которое до сих пор значилось как пропущенная цель в серии из 7 прогнозных оценок сахалинских землетрясений с магнитудой выше 5.5. Результаты расчетов по методу LURR (load/unload response ratio) выявили предвестник – аномалию, на основании которого точно определено место и время (ретроспективно) прогнозируемого события. Для пяти самых сильных землетрясений на о. Сахалин за период с 2004 по 2018 г. были выполнены расчеты по методу СРП (саморазвивающиеся процессы) в областях аномальных значений LURR, начиная со времени их появления (рис. 5). Совместное использование двух методов для прогноза сейсмической опасности на Сахалине на порядок улучшило точность определения времени прогнозируемого события от нескольких лет до нескольких недель.

Публикации:

Закупин А.С., Богомолов Л.М., Богинская Н.В. Последовательное применение методов анализа сейсмических последовательностей LURR и СРП для прогноза землетрясений на Сахалине // Геофизические процессы и биосфера. 2020. № 1. С. 66-78 = Zakupin A.S., Bogomolov L.M., Boginskay N.V. 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. 2020. Vol. 56, N. 7. P. 693–705.

Закупин А.С., Богинская Н.В. Среднесрочные оценки сейсмической опасности на о. Сахалин методом LURR: новые результаты // Геосистемы переходных зон. 2020. № 2. С. 160-177.

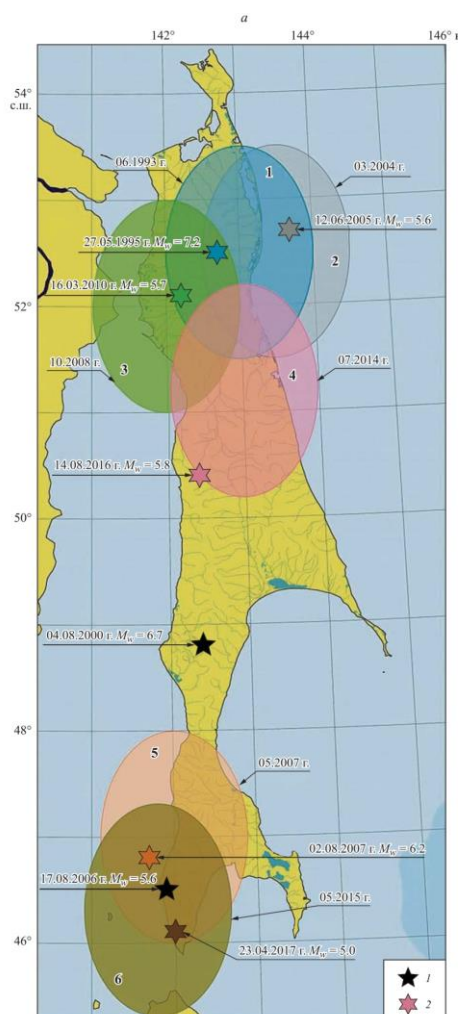


Рис. 5. Карта о. Сахалин с указанием прогнозных областей (1–6), выделенных методом LURR в период с 1988 по 2017 г.

1, 2 – землетрясения: 1 – произошедшие вне периодов аномальных значений LURR; 2 – произошедшие в период тревоги.

6. Рассмотрены натурные данные, полученные за длительный период наблюдений, проведенных в прибрежной зоне юго-восточного Сахалина в Охотском море с использованием донных датчиков давления как в условиях отсутствия льда, так и при наличии морского льда. Временные ряды данных уровня моря обнаруживают существенные различия между наблюдениями для открытой воды и временем, когда лед покрывал поверхность моря. Предложена гипотеза увеличения периода краевых волн подо льдом в условии, отсутствия в настоящее время математической теории такого события. Сильная зыбь, проходящая подо льдом, вызывает колебания ледяных пластин на их резонансных частотах, которые, в свою очередь, вызывают колебания воды подо льдом с теми же периодами. Проверка этого предположения в зависимости от толщины и размера ледяных плит показала, что возможно совпадение периодов собственных колебаний ледяной пластины с периодами волн, распространяющихся подо льдом. В этом случае можно ожидать явления синхронизации собственных колебаний ледяной плиты зыбью. В то же время ледяные пластины, возбужденные зыбью, будут колебаться на своих собственных частотах, вызывая колебания воды с одинаковыми периодами и пиками, которые будут наблюдаться в спектрах волн.

Публикации:

Kovalev P.D., Squire V.A. Ocean wave/sea ice interactions in the south-eastern coastal zone of Sakhalin Island // Estuarine, Coastal and Shelf Science. 2020. 238:106725. DOI: 10.1016/j.ecss.2020.106725

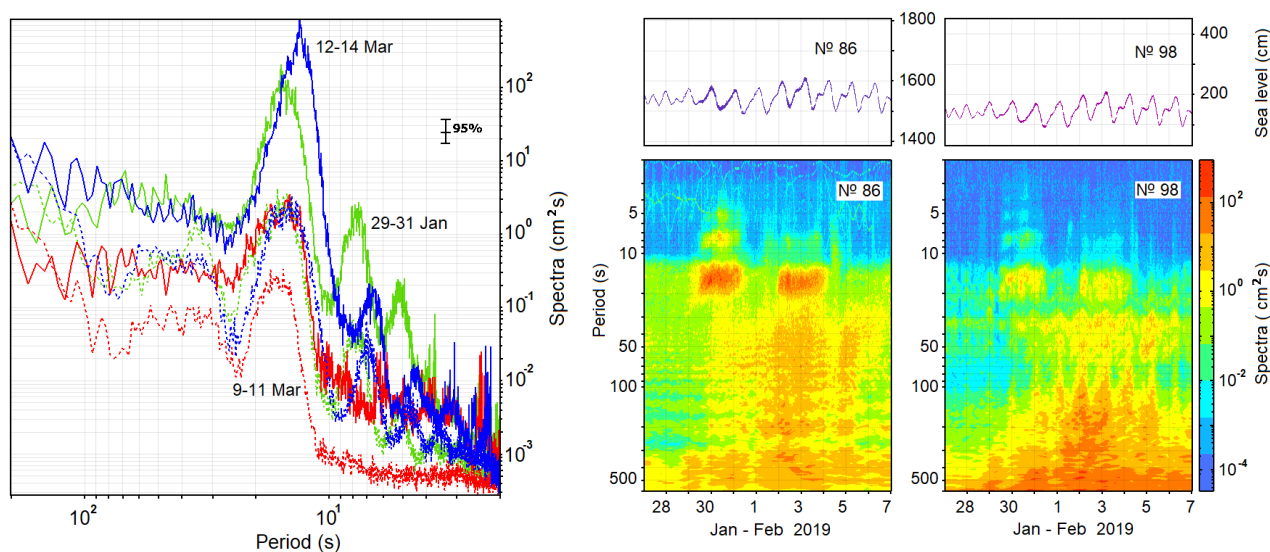


Рис. 6. Слева – спектры колебаний уровня моря для приборов 98 (пунктир) и 86. Справа – текущие спектры колебаний уровня моря в диапазоне периодов волнения 2-500 с.

7. В работе проведен анализ волнения в заливе Мордвинова, покрытого льдом, по данным наблюдений за волнением в течение зимы 2018-2019 года. Энергетические спектры показали наличие волн зыби, заходящих далеко под лед и длинных излученных волн (волн лики). Рассмотрены три случая прихода волн зыби, и оценена их амплитуда в разных диапазонах периодов, способных привести к разрушению льда. Показано, что волны лики сами не могут быть причиной образования трещины во льду, однако это возможно при совместном воздействии зыби и волн лики. При этом трещина будет образовываться на расстоянии около 4.5 километров от берега. Рассмотрено влияние циклического воздействия – волн зыби, на разрушение льда из-за усталости. Определено значение механического напряжения льда, при котором происходит усталостное разрушение припая. Показано, что для основных периодов волн зыби в заливе Мордвинова разрушение льда может произойти примерно через 17 часов после прихода зыби в акваторию.

Публикации:

Kovalev D.P., Kovalev P.D., Squire V.A. Crack formation and breakout of shore fast sea ice in Mordvinova Bay, south-east Sakhalin Island // Cold Regions Science and Technology. 2020. 175:103082, DOI: 10.1016/j.coldregions.2020.103082

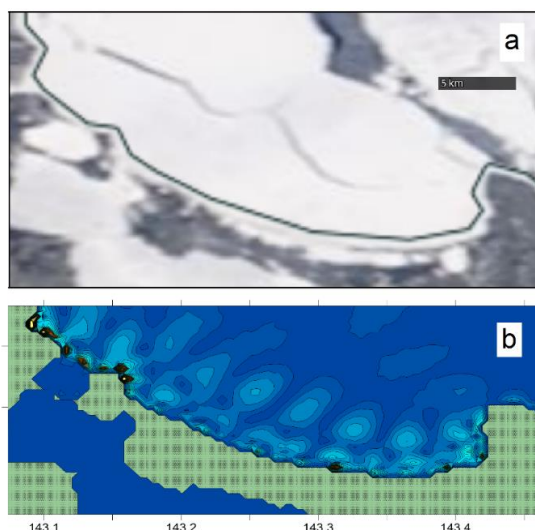


Рис. 7.1. Вид со спутника района исследований (залив Мордвинова) (a) и модель для моды с периодом 7 минут (b)

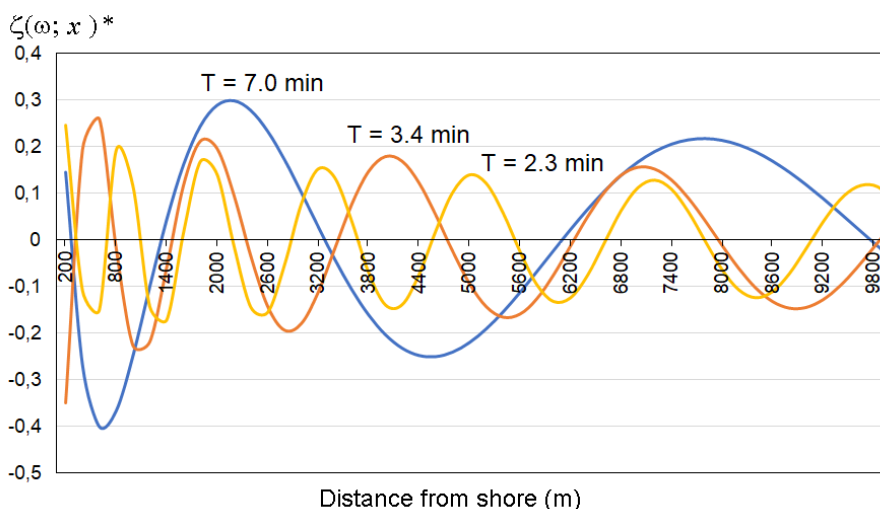


Рис. 7.2. Зависимость нормированной амплитуды leakу волн $\zeta(\omega, x)^*$ с периодами 7.0, 3.4 и 2.3 минут в зависимости от расстояния от берега.