

**Институт морской геологии и геофизики
Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИМГиГ ДВО РАН, № 221).
Сведения о важнейших научных достижениях, полученных в 2023 году.**

27 мая 1995 года на севере о. Сахалин произошло землетрясение $M_w=7.0$, в результате которого вскрылся Верхнепильтунский сейсморазрыв – вторичный сегмент главной Хоккайдо-Сахалинской разломной зоны региона. Геометрия сейсморазрыва, косейсмические смещения и изменение кулоновских напряжений в очаговой области землетрясения рассчитаны на основе модели конечного источника (рис. 1). Для моделирования использовались косейсмические смещения 24 пунктов, которые получены путем сравнения данных триангуляции и GPS-наблюдений до и после землетрясения. Моделированием установлены два основных участка разрывных нарушений с различным распределением смещений. Косейсмическое приращение кулоновского напряжения более чем на 10 МПа выявлено в южном сегменте Гыргыланьинского и центральной части Хоккайдо-Сахалинского разлома. Величины скоростей GPS-пунктов в окрестности Верхнепильтунского сейсморазрыва свидетельствуют о том, что период повторяемости подобных землетрясений составляет более тысячи лет. (Prytkov A.S., Vasilenko N.F. Slip Source Model of the 1995 Neftegorsk Earthquake (North Sakhalin) from Geodetic Data // *Geodynamics & Tectonophysics*. 2023. 14 (4).0712. DOI: 10.5800/GT-2023-14-4-0712.)

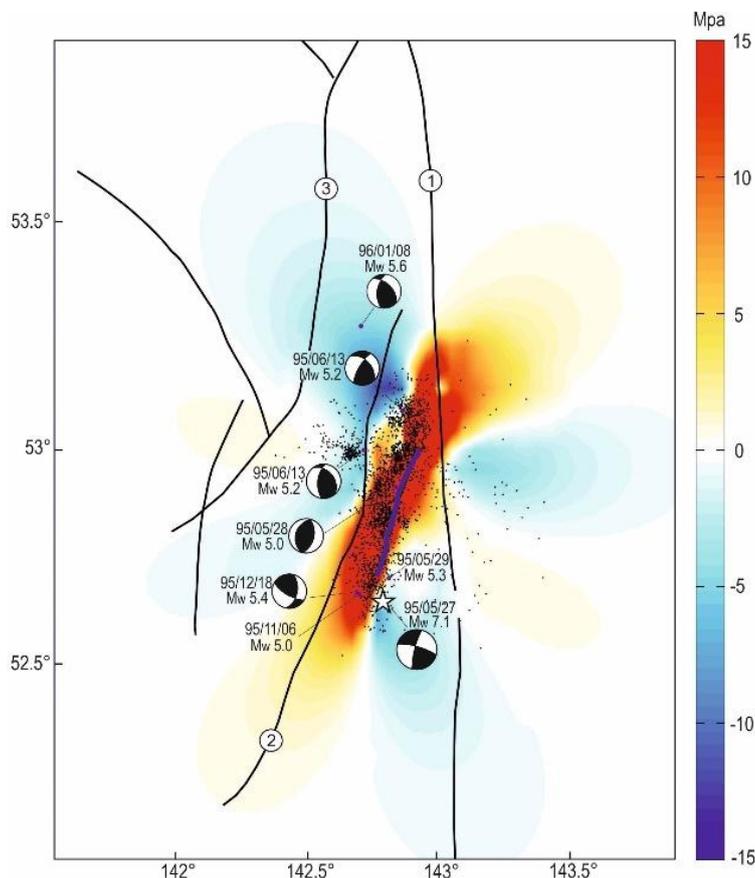


Рис. 1. Изменения кулоновских напряжений в результате Нefтегорского землетрясения 1995 г. на глубине 11 км. Механизмы очагов (в проекции нижней полусферы) и афтершоки с магнитудой $M > 5.0$ за период с 28 мая 1995 г. по декабрь 1997 г. приведены по данным [USGS..., 2022]. Черные точки – афтершоки с 10 июня по 8 июля 1995 г. Звездочкой показан эпицентр Нefтегорского землетрясения. Синяя линия – Верхнепильтунский сейсморазрыв. Разломы: 1 – Хоккайдо–Сахалинский, 2 – Гыргыланьинский, 3 – Западно-Байкальский

В работе усовершенствована Региональная статистическая модель цунами, разработанная ранее автором, которая отличается от широко используемых вариантов РТНА тем, что полностью построена на основе исторических наблюдений за цунами (рис. 2). Метод работает с наборами данных о высоте цунами, превышающими пороговую высоту в 0,5 м и ранжированными по высоте для каждого прибрежного пункта региона (рис. 2). На основе наблюдений из 63 прибрежных точек Южно-Курильского региона показано, что все ранги цунами данные о высоте, предоставленные существующими каталогами цунами за период 67 лет, можно описать одной региональной рекуррентной функцией. (Kaistrenko V. // Pure And Applied Geophysics. 2023. Т. 180. № 6. С. 1877–1896.)

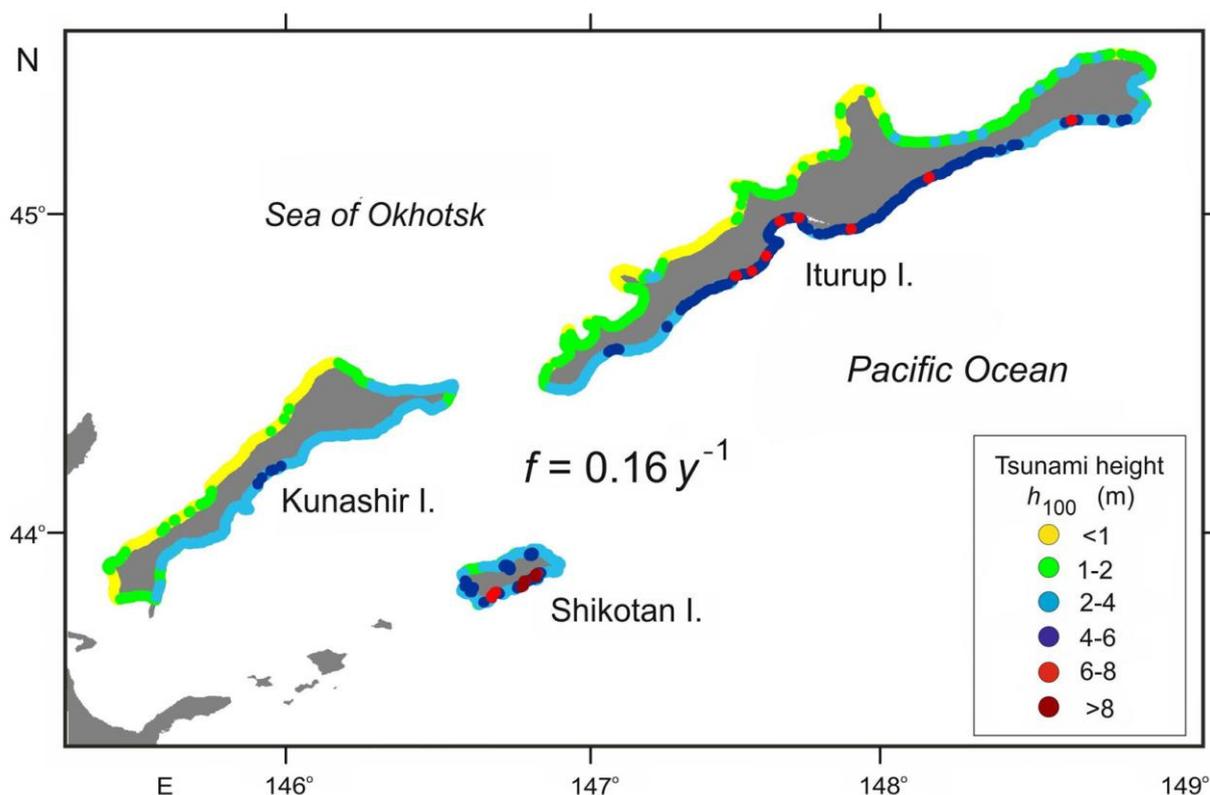


Рис. 2. Карта цунамиопасности побережья Южных Курильских островов масштаба 1:1 000 000: распределение максимальных высот цунами с периодичностью 100 лет

Выполнена обработка материалов из экспедиции на уникальное термальное озеро «Утиная баня» (о. Итуруп, Курильские о-ва), организованной ИВиС ДВО РАН совместно с ИМГиГ ДВО РАН в феврале 2022 г. В работе приводится детальное описание морфологического облика котловины озера Утиная Баня и впервые представлена его батиметрическая модель (рис. 3), детально описана морфология водоема. Результаты расчетов морфометрических параметров могут свидетельствовать о взрывном происхождении озерной котловины. Выполнен анализ газогидротермальных проявлений и вод озера: по физико-химическим характеристикам его воды сходны с рядом источников, расположенных на вулканах Баранского, Тебенькова, Иван Грозный, и имеют существенные различия с Рейдовскими и другими источниками и термальными полями, приуроченными к соответствующим вулканическим постройкам. (Хубаева О.Р., Дегтерев А.В., Козлов Д.Н. и др. // Геология и геофизика, т. 64 (9), с. 1258–1269; Khubaeva O.R., Degterev A.V., Kozlov D.N. et al. // Russian Geology And Geophysics. 64 (9), 1048–1057. DOI: 10.2113/RGG20234551.)

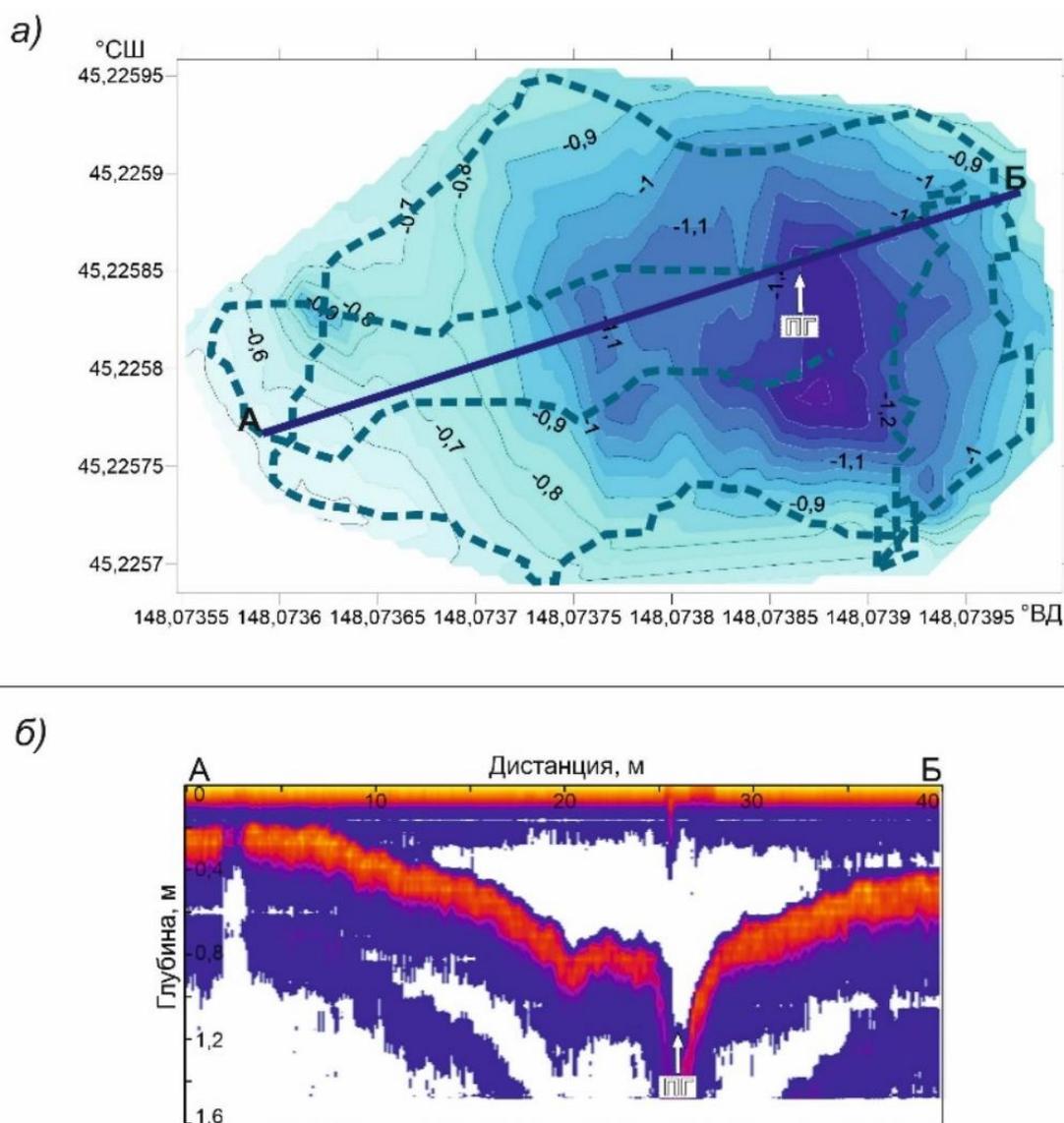


Рис. 3. а) Батиметрическая схема оз. Утиная Баня. Пунктиром обозначены основные промерные галсы, представленный на рисунке профиль отмечен сплошной линией. б) Эхолотный профиль озера Утиная Баня, максимальная глубина составляет 1.5 м, в этом же месте виден предположительно разлом и подводное газогидротермальное проявление (ПГ)

Проведенный анализ следов циклонов по временному ходу колебаний температуры позволил установить, что следы циклонов формируются, когда температура воды верхнего квазиоднородного слоя превышает 10С, и внутренние волны с периодом около 13 ч присутствуют в то время, когда циклоны не перемещаются вблизи точки установки приборов и температура воды ниже 10С. Проведенные измерения показали, что краевая волна, существующая от м. Острый до м. Свободный, сразу за мысом значительно ослабевает и, далее не распространяется (рис. 4). Анализ колебаний температуры для диапазона периодов 1 - 80 часов показал, что поскольку периоды спектральных пиков колебаний температуры воды для периодов длиннее 5 часов не совпадают с периодами пиков колебаний уровня моря, то эти пики определяются внутренними волнами. Определено число Бургера, которое позволяет скорректировать диапазон существования около инерционных внутренних волн и определить этот диапазон для периодов 12,1-18,2 ч. (Kurkin, A., Kovalev D., Kurkina O., Kovalev P. Features of Long Waves in the Area of Cape Svobodny (South-Eastern Part of Sakhalin Island, Russia) During the Passage of Cyclones // Russian Journal Of Earth Sciences., 23, 2023. ES3003. DOI: 10.2205/2023es000852.)

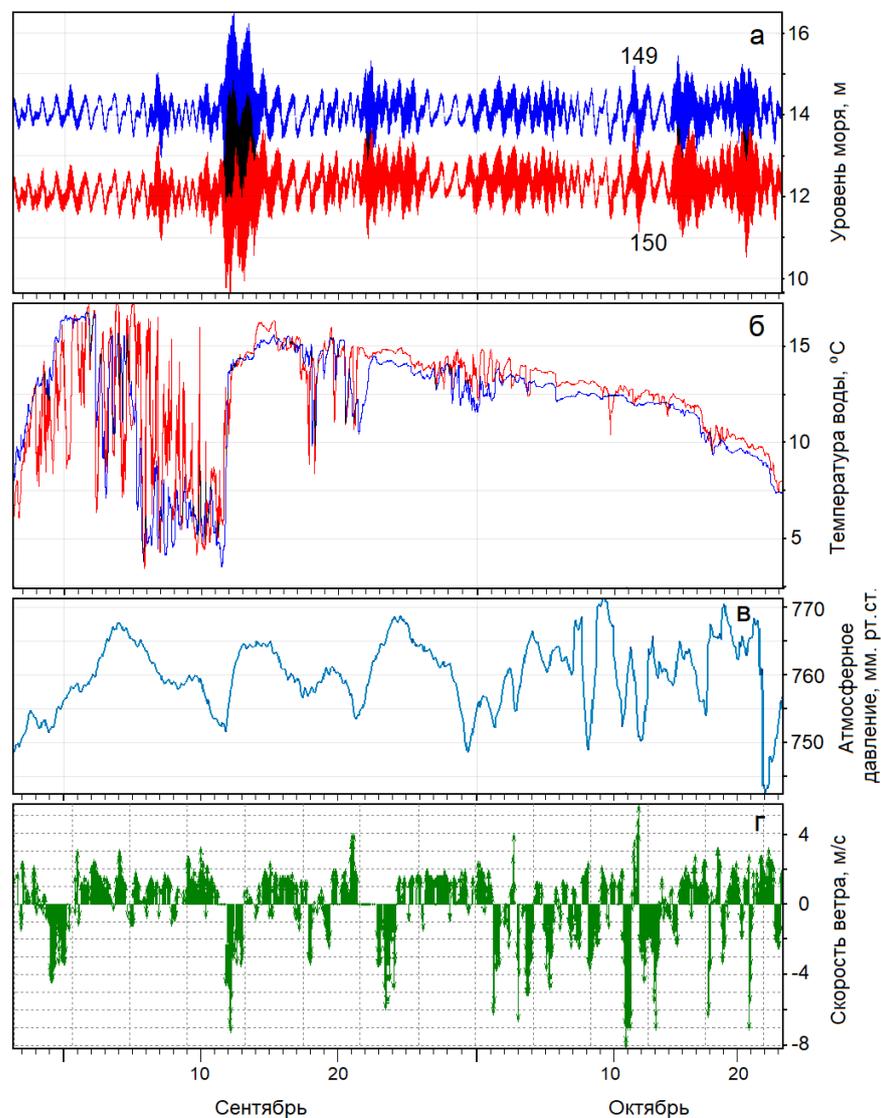


Рис. 4. Временной ход колебаний уровня моря (а), температуры воды (б), атмосферного давления (в) и скорости ветра (г). Положительное направление векторов скорости ветра соответствует северным ветрам

По результатам исследований образцов лишайников, собранных на островах Сахалин, Матуа и Шикотан были дополнены сведения по лишайнобиоте Сахалинской области. Для о. Сахалин приведены 6 видов лишайников, ранее не указанных для острова, среди которых 2 вида – *Physconia subpulverulenta* и *Bacidia elongata*, указываются впервые для Сахалинской области. Впервые для о. Сахалин отмечены: *Mycobilimbia carneoalbida*, *Mycobilimbia tetramera*, *Chaenotheca xyloxena*, *Pseudoschismatomma rufescens*. Для острова Шикотан были дополнены сведения о 18 видах лишайников, ранее не указанных для острова, среди которых *Bryobilimbia hypnorum*, *Heterodermia incana* и *Physconia hokkaidensis* являются новыми для Курильских островов, а *Chaenotheca ferruginea* и *Polyblastidium propaguliferum* – для Сахалинской области. Семь видов: *Anzia opuntiella*, *Coccocarpia erythroxyli*, *Collema japonicum*, *Heterodermia incana*, *Megalospora atrorubricans* subsp. *sendaiensis*, *Polyblastidium japonicum* и *P. propaguliferum* – редкие (рис. 5). *Coccocarpia erythroxyli* имеет охранный статус в Красных книгах Сахалинской области и России. Для острова Матуа были дополнены сведения о 8 видах лишайниках: 3 вида из рода *Rinodina*, 2 вида из рода *Physcia*, и 2 вида из рода *Buellia*, и вид *Tetramelas chloroleucus*. Все найденные виды лишайников исследованных семейств на склонах вулкана впервые указываются для острова Матуа. Для *Rinodina ascociscana* остров Матуа будет самой северной точкой местонахождения вида в Евразии. *Buellia badia* – новый вид для юга Дальнего Востока. (Ежкин А.К. // Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. 2023. № 2. С. 65-75; Ezhkin A. K., Galanina I. A., Romanyuk F. A. // Geosystems of Transition Zones. 2023. Т. 7. № 2. С. 206-211.)

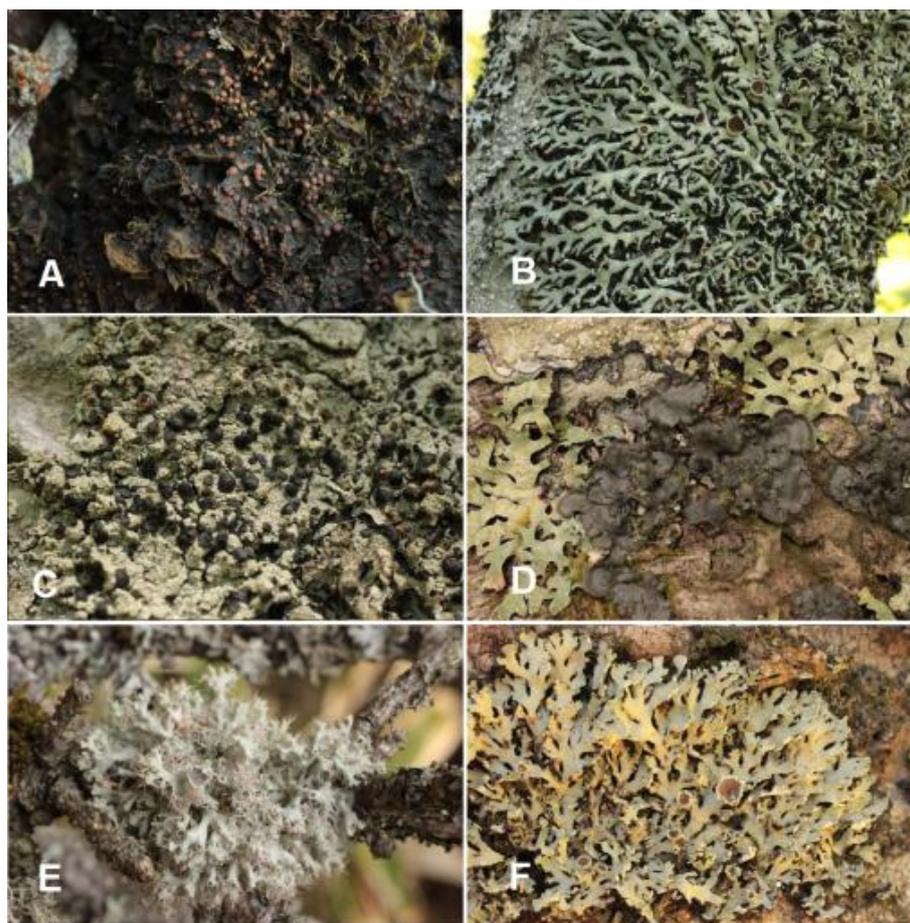


Рис. 5 Фото лишайников с о. Шикотан: (А) – *Collema japonicum*, (В) – *Anzia colpota*, (С) – *Megalospora atrorubricans* subsp. *sendaiensis*, (D) – *Coccocarpia erythroxyli*, (E) – *Heterodermia incana*, (F) – *Polyblastidium japonicum*

Проведено изучение возможности оперативного прогнозирования цунами в условиях реального времени по данным глубоководных станций измерения уровня океана. Экспресс-метод может применяться для прогноза цунами в тех областях, для которых другие способы не применимы (например, отсутствуют базы синтетических мареограмм). Экспресс-метод позволяет заблаговременно рассчитывать волновые формы ожидаемого цунами в океане, а также вблизи побережья. Для прогнозирования требуется сейсмологическая информация только о времени начала и координатах эпицентра землетрясения и данные одной станции измерения уровня океана, получаемые в режиме реального времени. В численных экспериментах использовались данные ближайших к очагам цунами глубоководных станций измерения уровня океана длительностью, равной первому полупериоду (первому периоду) цунами. Результаты расчета цунами 2007–2015 гг. достаточно хорошо совпадают с формами цунами, зарегистрированными глубоководными станциями в океане в различных направлениях от очага (рис. 6). В отличие от других способов, экспресс-метод не нуждается в построении сейсмического источника, не требует гигантской базы синтетических мареограмм. Экспресс-метод может применяться для прогноза цунами в тех областях, для которых другие способы не применимы (например, отсутствуют базы синтетических мареограмм). (Королёв Ю.П. // Морской гидрофизический журнал. 2023. Т. 39. №. 3. С. 342-358.)

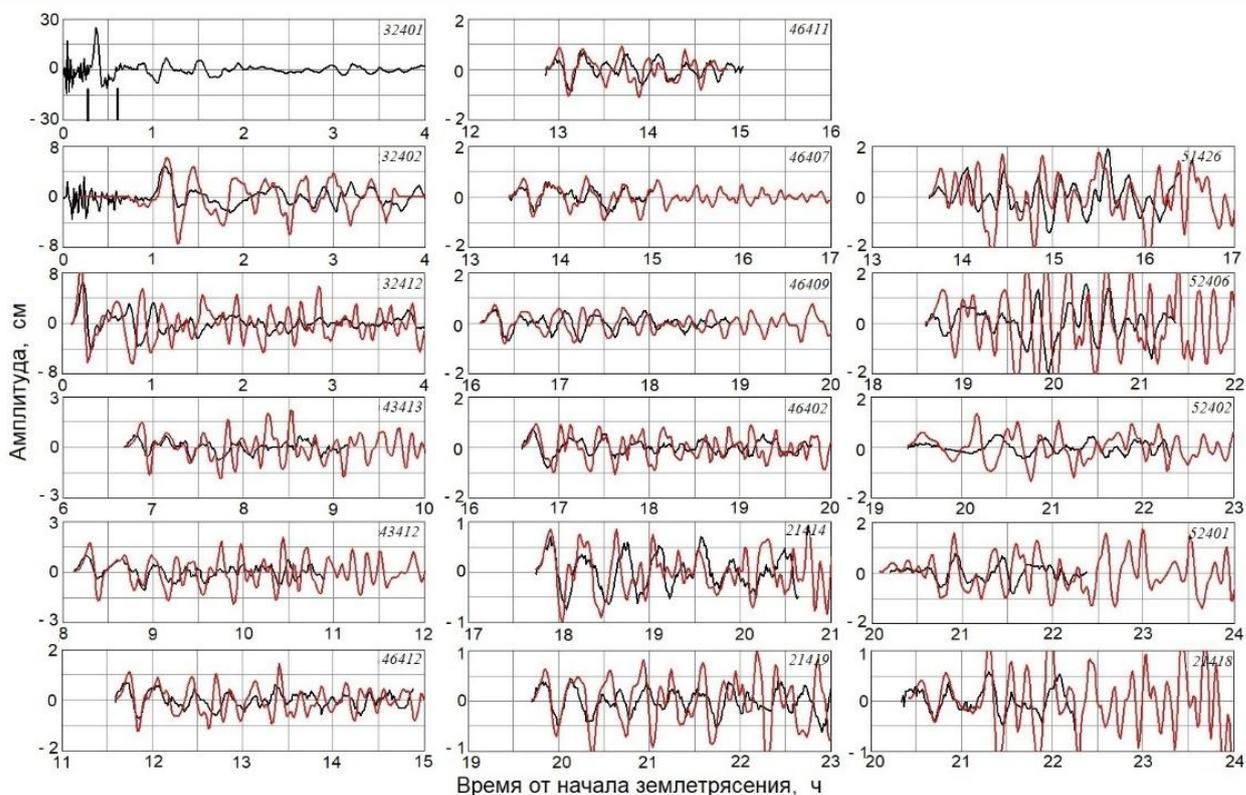


Рис. 6. Волновые формы Чилийского цунами 2014 г.: зарегистрированные (черная линия) и расчетные (красная линия) по данным станции *DART* 32401 для станций *DART*, находящихся к северу от очага цунами (слева), вдоль Западного побережья США, Алеутских островов до Курильских островов (посередине), к западу от эпицентра землетрясения (справа)

Согласно парадоксу сейсмичности, землетрясения по механизму обычного хрупкого разрушения не могут возникать на глубинах более нескольких десятков км. Для объяснения глубоких землетрясений было предложено несколько моделей, которые, однако, не были убедительно подкреплены данными об изменении с глубиной параметров очагов землетрясений. В работе даны примеры прекращения сейсмичности на уровне земной коры, несмотря на несомненное продолжение аналогичных сдвиговых смещений и глубже. Продемонстрировано изменение ряда средних параметров землетрясений от глубины. Характер этих изменений согласуется с ожидаемым различием физических механизмов землетрясений по глубине и существенно уточняет принятое деление землетрясений на мелкие, промежуточные и глубокие. Различие физических механизмов землетрясений предполагает возможное различие характера их предвестников. (**Родкин М.В.**, Липеровская Е.В. // Физика Земли. 2023. № 3. С. 48-62. DOI: 10.31857/S0002333723030110.)

Рассмотрены результаты исследований особенностей физических процессов при качке пришвартованных судов, как динамической системы, для порта Пригородное Сахалинской области, являющегося основным портом для транспорта сжиженного газа и нефти с месторождений на о. Сахалин. Выполнен расчет периодов качки для газозова и танкера – типичных судов, швартующихся в порту Пригородное к газовому терминалу «джетти» – специальному причалу для приема газозовов, и выносному нефтеналивному причалу. Полученные результаты наблюдений волнения позволили провести моделирование движения судов для безударного и ударного о демпферы причала режимов. Рассмотрено поведение динамической системы – движение судов при воздействии внешней силы – приходящего волнения, с использованием дифференциального уравнения второго порядка с внешним возбуждающим воздействием (рис. 7). Показано влияние коэффициента вязкого демпфирования и жесткости швартовых на реакцию динамической системы без удара о причал и для режима ударного осциллятора. Проведено моделирование динамической системы с использованием уравнения Дуффинга для ситуаций воздействия на суда инфрагравитационных волн с периодами 64,6 с и 94,1 с в целях определения возможности перехода движений динамической системы к хаотическим колебаниям. (Ковалев Д.П., Ковалев П.Д., Борисов А.С., Зарочинцев В.С. // Инженерная физика, 2023, №11. С. 3-18. DOI: 10.25791/infizik.11.2023.1363.)

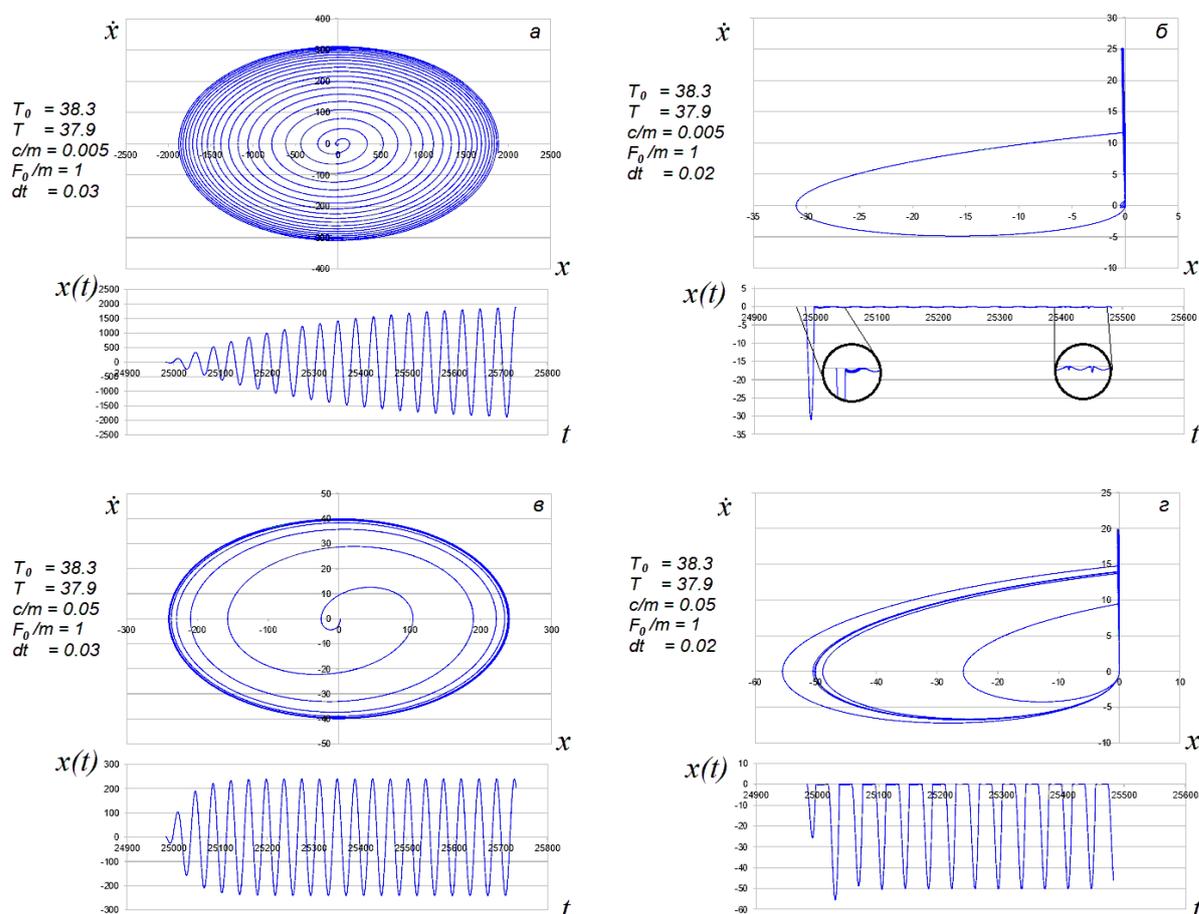


Рис. 7. Фазовые портреты и форма колебаний динамической системы в порту Пригородное для газозова и случая без удара (а, в), и для ударного осциллятора (б, г) при воздействии морских волн с периодом 37.9 с и качке судна с периодом 38.3 с. На рисунке периоды колебаний T_0 и T и dt – шаг интегрирования в секундах

Проведен анализ проявления волн Лэмба в записях донных датчиков давления DONET и DART, расположенных в районе Японских островов. Исследование направлено на изучение физики формирования колебаний давления на дне океана с целью разработки метода выделения свободных гравитационных волн в записях, полученных датчиками донного давления. Извержение вулкана Хунга Тонга-Хунга Хаапай 15 января 2022 года стало первым мощным взрывным извержением в истории, которое было зафиксировано с высоким качеством (рис. 8). Атмосферная волна Лэмба, вызванная взрывом, неоднократно облетала Землю и послужила одной из причин образования волн цунами. В рамках теории мелкой воды был проведен анализ реакции слоя воды на атмосферную волну Лэмба. Этот отклик сочетает в себе вынужденное возмущение, амплитуда которого зависит от глубины океана, и свободные гравитационные волны, возникающие в результате перестройки вынужденного возмущения на подводных склонах. С помощью численного моделирования было обнаружено, что конечная длина склона оказывает существенное влияние на параметры свободных волн при превышении 50 км. Анализ натуральных данных (DONET, DART) подтверждает обоснованность теоретических концепций, представленных в работе. В частности, показано, что колебания придонного давления в глубоководных районах океана превышают амплитуду колебаний атмосферного давления в волне Лэмба. (Nosov M.A., Kolesov S.V., Sementsov K.A. Interpretation of Signals Recorded by Ocean-Bottom Pressure Gauges during the Passage of Atmospheric Lamb Wave on 15 January 2022 // Remote Sensing. 2023, 15(12), 3071. DOI: 10.3390/rs15123071.)

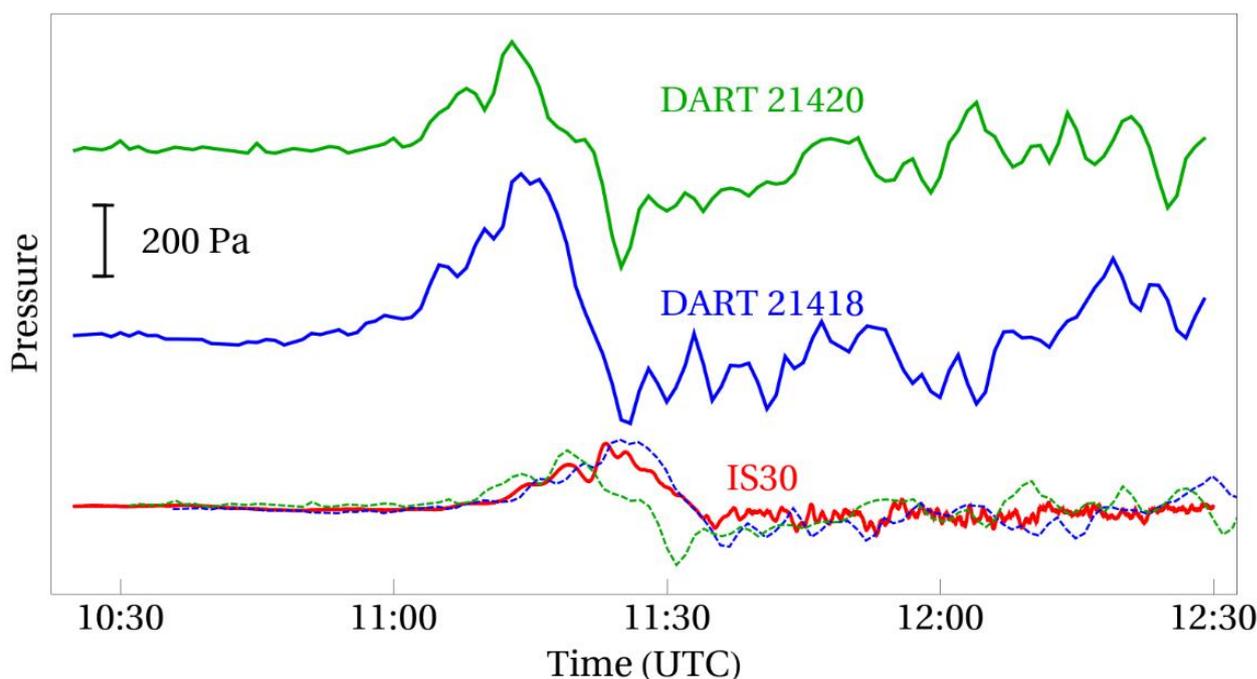


Рис. 8. Колебания давления, регистрируемые станциями DART на дне океана (синяя и зеленая сплошные линии) и барографом, составляют 30 в атмосфере (красная сплошная линия). Синяя и зеленая пунктирные линии показывают изменения донного давления, умноженные на корректирующий коэффициент и сдвинутые во времени от Хунга Тонга-Хунга Хаапай. Расстояние от вулкана до барографа составляет 30 км

Расширение экономических связей Сахалина и соответствующая интенсификация грузопотоков не только из других регионов России, но и из зарубежных стран, обусловили появление различных чужеродных видов растений на острове. В результате проведенных исследований во вторичных сообществах нами выявлено 12 новых чужеродных видов сосудистых растений: *Ajuga reptans* L., *Brunnera sibirica* Steven., *Centaurea jacea* L., *Erodium cicutarium* (L.) L'Her., *Juncus tenuis* Willd., *Leonurus quinquelobatus* Gilib., *Melandrium dioicum* (L.) Coss. & Germ., *Mentha longifolia* (L.) Huds., *Myosotis arvensis* (L.) Hill, *Phacelia tanacetifolia* Benth., *Veronica filiformis* Sm., *Vinca minor* L. Из них *Brunnera sibirica* (рис. 9), *Erodium cicutarium*, *Leonurus quinquelobatus* (рис. 9), *Phacelia tanacetifolia* являются новыми видами и родами для флоры о-ва Сахалин, а *Ajuga reptans*, *Veronica filiformis* – новыми видами для флоры российского Дальнего Востока (РДВ) и о-ва Сахалин. Кроме этого, *Vinca minor* установлен как новое семейство, род и вид для флоры о-ва Сахалин и РДВ. (Ложникова О.О., Сабирова Н.Д., Сабиров Р.Н. // Ботанический журнал, 2023. Т. 108. № 4. С. 383–387.)



Рис. 9. Новые виды *Brunnera sibirica* (левый снимок) и *Leonurus quinquelobatus*

Показано, что в зависимости от степени закупорки порового пространства за счет выпадения парафиновых осадков ультразвуковая обработка оказывает различное воздействие (рис. 10). Если часть проницаемых каналов необратимо разрушена, то активация упругих колебаний способствует отсрочке момента блокирования оставшейся части и позволяет поддерживать поток нефти через образец на постоянном уровне. Без дополнительных средств ультразвуковая обработка не дает существенного эффекта в случае сильной закупорки проницаемых каналов. Полученные результаты лабораторных исследований могут быть использованы для промышленных методов интенсификации добычи углеводородов. (Riabokon E., Gladkikh E., Kamenev P. et al. // *Geotechnique Letters*. 2023. Vol. 13(3). P. 1-20. DOI: 10.1680/jgele.22.00137.)

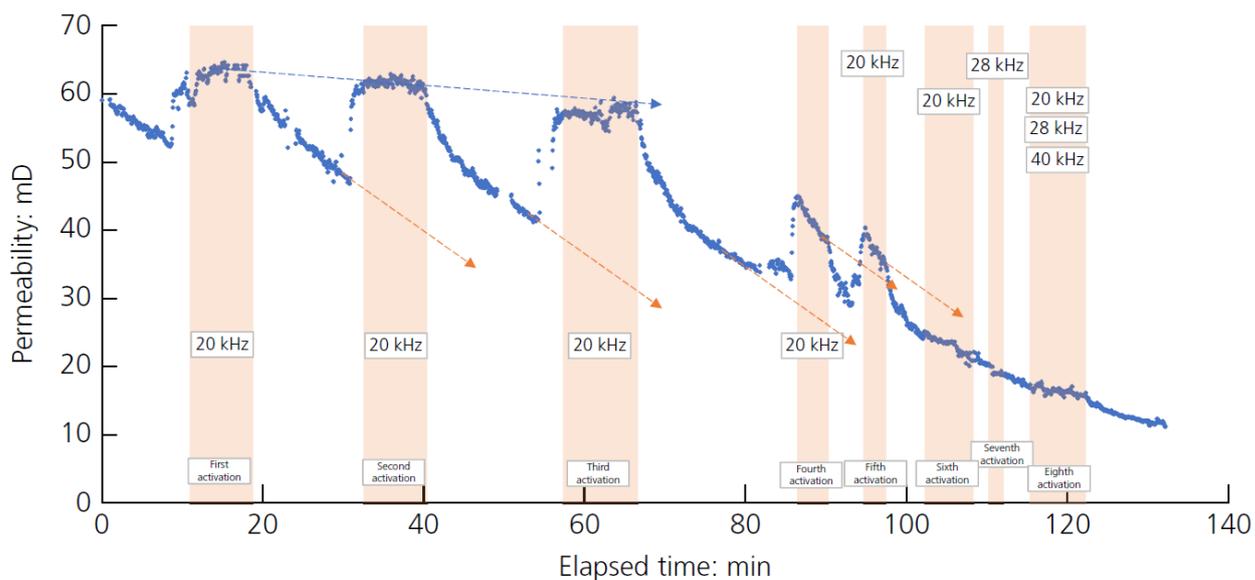


Рис. 10. График изменения проницаемости горной породы при поступлении парафинистой нефти в поле упругих колебаний.

Приводятся первые данные об умеренном эффузивно-эксплозивном извержении вершинного кратера вулкана Алайд (о. Атласова, Северные Курильские острова), наблюдавшегося в период с 10 сентября по 1 декабря 2022 г. На основе спутниковых и визуальных данных установлено, что в результате стромболианско-вулканской активности на южный склон вулкана излилось два лавовых потока протяженностью 2.6 и 1 км и произошло не менее 16 выбросов на высоту от 2.5 до 6 км над ур. м. (рис. 11). Пепловые шлейфы распространялись в основном в юго-восточном и восток-юго-восточном направлениях, их максимальная протяженность достигала 300–530 км. Извержение представляло опасность для местных авиалиний. Излияние лавы спровоцировало формирование лахаров, сходявших по южному склону вулкана и достигавших побережья острова. Сформировавшийся из селевых масс конус выноса частично отложился за пределами береговой линии, вызвав приращение островной суши. (Дегтерев А.В., Чибисова М.В., Романюк Ф.А. // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2023. № 2. Выпуск 58. С. 17-28. DOI: 10.31431/1816-5524-2023-2-58-17-28.)

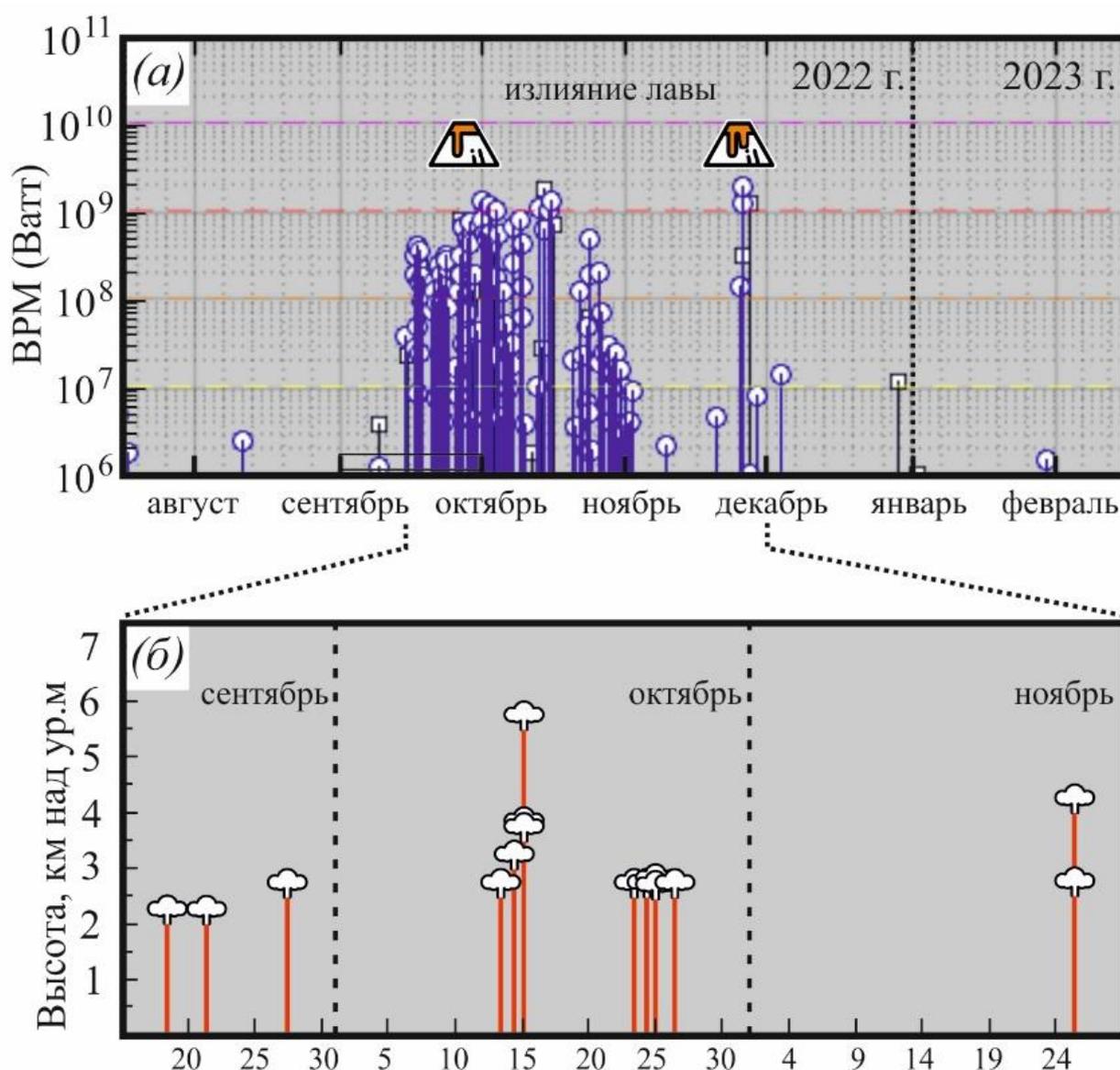


Рис. 11. Хронология термальной активности по спутниковым данным Terra MODIS (а) и пепловых выбросов вулкана Алайд (б). Значения мощности теплового излучения приведено в Ваттах. Использованы данные сервиса MIROVA и VAAC Токио

Выполнялся анализ пространственно-временной изменчивости природной среды исследуемых территорий под влиянием вулканического воздействия на фоне климатических изменений. Применение космических снимков среднего пространственного разрешения позволило достаточно точно выделить ареалы растительных сообществ посредством обучаемой классификации, проанализировать состояние лесов Макаровского заказника выявлено при помощи изображений, полученных с использованием NDVI. Состав и распределение растительных сообществ на юге острова Сахалин претерпели значительные изменения под влиянием сильного антропогенного воздействия. Исчезают девственные темнохвойные леса, они сменяются вторичными менее продуктивными лиственными насаждениями. Границы районов изменились в связи с тем, что коренные темнохвойные леса уступили место березнякам, а также заселению территорий бамбучниками. К существенным изменениям территории острова Матуа приводят относительно редкие и сильные извержения вулкана Пик Сарычева, что главным образом отражается на состоянии растительного покрова и в перестройке рельефа. Накопление пирокластического материала привело к увеличению площади острова на 0,87 км², однако за 13 лет морем было размыто 0,52 км². Результаты исследования показывают характер существенной изменчивости территорий, прилегающих к активным вулканам, что необходимо учитывать при решении вопросов, связанных с хозяйственным освоением, кадастровой оценкой и организацией мониторинга этих земель. (Мелкий В.А., Братков В.В., Чернявка Е.С. и др. // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). 2023. Т. 28, № 4. С. 94–106. DOI: 10.33764/2411-1759-2023-28-4-94-106; Мелкий В.А., Верхотуров А.А. // ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационная поддержка устойчивого развития регионов в условиях кризиса: Материалы Междунар. конф. М: Географический факультет МГУ, 2023. Т. 29. Ч. 1. С. 393–405. DOI: 10.35595/2414-9179-2023-1-29-393-405; Верхотуров А.А. // Геодезия и картография. – 2023. – № 6. – С. 42-49. DOI: 10.22389/0016-7126-2023-996-6-42-49.)

Получены новые данные по геохимии угольных месторождений мелового, палеогенового и неогенового возраста Сахалинского бассейна (рис. 12). Изученные угли, как правило, характеризуются концентрациями большинства микроэлементов, близкими к средним оценкам для мировых углей, а также смешанным халькофильно-сидерофильным и литофильным геохимическим комплексом, типичным для переходных районов зоны «континент–океан». В среднем по бассейну угли обогащены Sc, V, Co, Br, Sr и Ba по сравнению со среднемировыми показателями. Для некоторых угольных месторождений выявлена специализация по HREE, Br, Cu, Ag, Hg, Nb, Ge, Mo, W, As, Ni и Pb. Уровни накопления Sc, Y, Sr и тяжелых лантанидов в угольной золе на некоторых месторождениях превышают минимально возможные промышленные концентрации. (Arbuzov S.I., Chekryzhov I.Yu., Verkhoturrov A.A., et al. // International Journal of Coal Geology. 2023. Vol. 268. 104197. DOI: 10.1016/j.coal.2023.104197.)

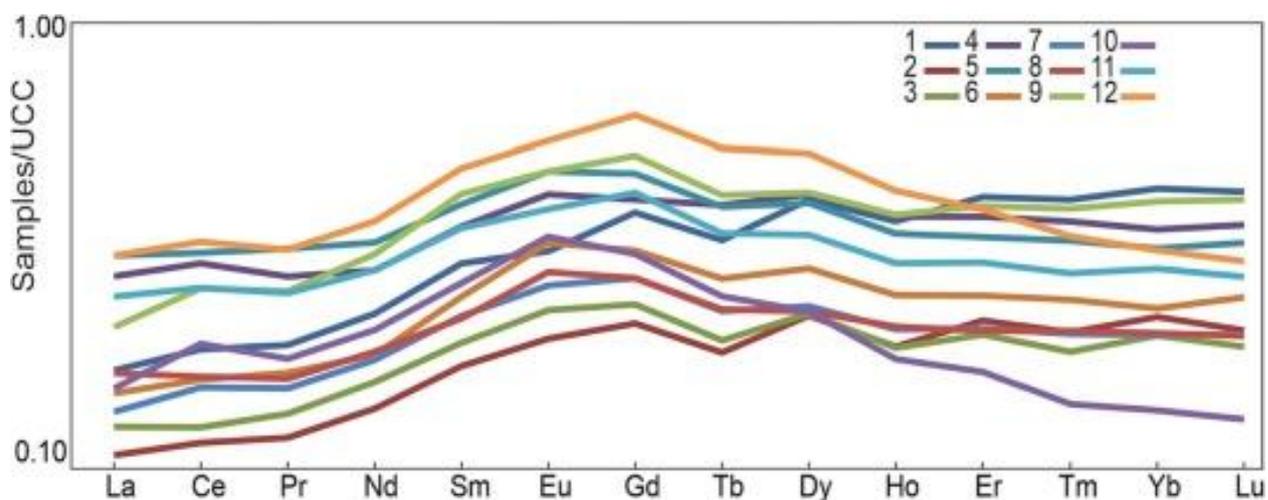


Рис. 12. Графики распределения РЗЭ в углях месторождений о. Сахалин, нормированные на состав верхней континентальной коры: 1 – Горнозаводское, 2 – Солнцевское, 3 – Константиновское, 4 – Первомайское, 5 – Мачинское, 6 – Мгачи, 7 – Александровское, 8 – Каменское, 9 – Амурданское, 10 – Владимиро-Агниевское, 11 – Амурдано-Онорская площадь, 12 – Новиковское

Российская Федерация занимает второе место в мире по общей протяженности магистральных трубопроводов (МТ), на которых иногда возникают аварии в результате негативного воздействия природных и техногенных факторов. Основными опасными геологическими процессами, оказывающими воздействие на трубопроводы, являются смещения в зонах активных разрывных нарушений в земной коре. Мониторинг с помощью дистанционного зондирования позволяет быстро оценить меняющиеся инженерно-геологические условия на территориях, где проложен трубопровод, а также обнаружить признаки возникновения природных процессов, представляющих опасность для объектов инфраструктуры. Проведен автоматизированный линеаментный анализ космических снимков с целью выявления зон разрывных нарушений. Определены и показаны на карте потенциально опасные участки исследуемой территории магистрального трубопровода Чайво – Де-Кастри, представленные зонами разрывных нарушений. Выполнен линеаментный анализ района перешейка Поясок. Минимизация погрешностей при моделировании объектов инфраструктуры трубопровода достигнута посредством привязки данных аэрокосмических съемок к системе линейных координат, используемой при внутритрубной диагностике. Результаты обеспечивают безопасность эксплуатации МТ. (Мелкий В.А., Купцова О.В., Верхотуров А.А., Долгополов Д.В. // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2023. – Т. 334. – № 6. – С. 92–102. DOI: 10.18799/24131830/2023/6/3826; Барина К.Г., Долгополов Д.В., Мелкий В.А., Верхотуров А.А. // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). 2023. Т. 28, № 1. С. 70–9. DOI: 10.33764/2411-1759-2023-28-1-7079; Мелкий В.А., Купцова О.В., Верхотуров А.А. // ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий: Материалы Междунар. конф. М: Географический факультет МГУ, 2023. Т. 29. Ч. 1. С. 346–360. DOI: 10.35595/2414-9179-2023-1-29-346-360.)