

**Институт морской геологии и геофизики
Дальневосточного отделения Российской академии наук.
Сведения о важнейших научных достижениях, полученных в 2022 году.**

1. Проведена инверсия механизмов очагов землетрясений промежуточной глубины для южной части Курильских островов вдоль верхнего и нижнего слоя сейсмофокальной зоны. В этой зоне 13 февраля 2020 г. на глубине 142 км произошло сильное землетрясение с магнитудой $M_w=7.0$. Вблизи очаговой зоны землетрясения на протяжении последних десятилетий наблюдается аномалия распределения землетрясений по слоям двойной сейсмофокальной зоны в соответствии с кинематическим типом сейсмодислокации в сравнении с другими участками промежуточных глубин сейсмофокальной зоны. Ориентация осей главных напряжений может свидетельствовать о том, что на их формирование помимо изгиба слэба оказывает влияние сопротивление мантии его движению.

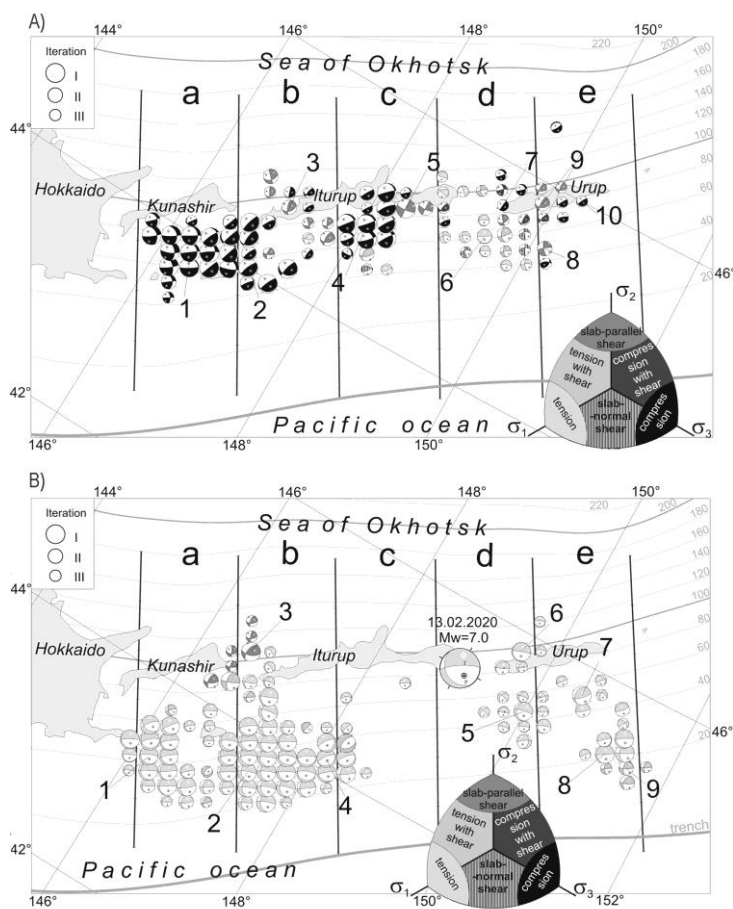


Рис. 1. Ориентация главных осей тектонических напряжений на промежуточных глубинах сейсмофокальной зоны в районе Южных Курильских островов: А) верхний слой, В) нижний слой сейсмофокальной зоны. Показаны оси главных напряжений σ_1 (минимальное сжатие) на фоне затемненных областей стереографической проекции нижней фокальной полусферы и σ_3 (максимальное сжатие) на фоне белых областей. Цвет (оттенок) полусферы соответствует динамическому типу напряженного состояния в расчетной точке согласно принятой классификации в системе отсчета, связанной со слэбом. Размер обратно пропорционален номеру итерации расчета.

Публикации:

Safonov D.A. The Earthquake of February 13, 2020, $M=7.0$ and Seismotectonic Conditions at Intermediate Depths of the Southern Kuril Islands // Pure Applied Geophysics. 2022. DOI: 10.1007/s00024-021-02926-5

2. Изучены возрастные закономерности формирования коры у каменной березы (*Betula ermanii* Cham.) из местообитаний с различными экологическими режимами, определенными влиянием современной деятельности грязевых вулканов острова Сахалин и газогидротермальной активности магматических вулканов острова Итуруп (Курильские острова). Стрессовая вулканическая обстановка вызывает адаптивные изменения толщины коры и трансформации проводящей ткани – флоэмы, тесно связанные с высотой растений (рис.1) и жизненной формой, направленные на оптимизацию дальнего транспорта углерода в теле растений. Результаты показали, что толщина коры может быть самостоятельным функциональным признаком, а именно интегральным показателем структурных адаптивных откликов древесных растений на экологические лимиты. Результаты исследования имеют ключевое значение для понимания, оценки и прогнозирования адаптивных возможностей деревьев, формирующих широко распространенные в Северо-Восточной Азии каменноберезовые леса, в условиях вулканического стресса и изменения климата.

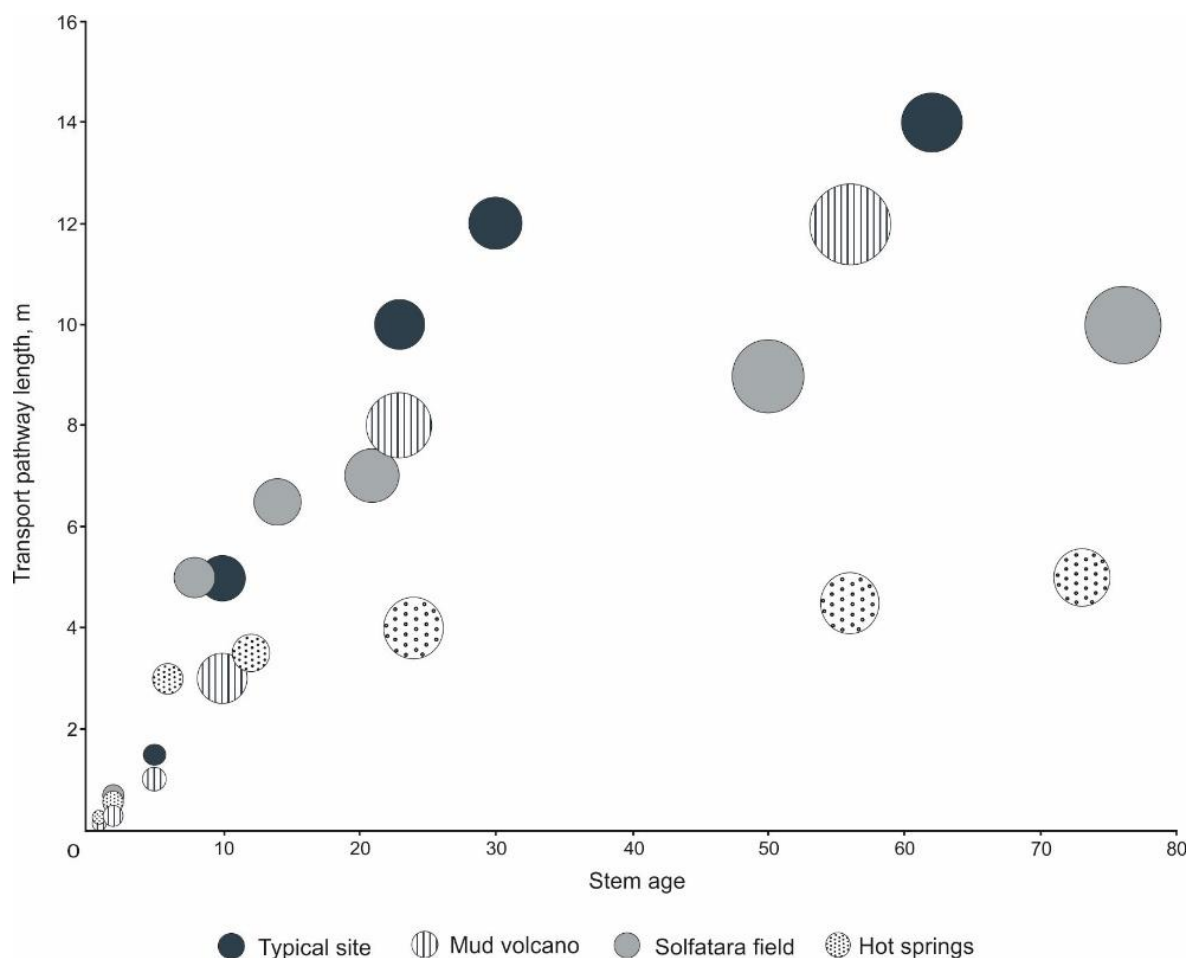


Рис. 2. Корреляции между длиной проводящих элементов флоэмы (члеником ситовидной трубки), длиной транспортного пути и возрастом каменной березы в исследованных местообитаниях на островах Сахалин и Итуруп (типичные условия – г. Красная, Сусунайский хребет острова Сахалин, Южно-Сахалинский грязевой вулкан острова Сахалин, сольфатарное поле и газогидротермальные источники вулкана Баранского на острове Итуруп): диаметр круга равен длине элементов флоэмы.

Публикации:

Koranina A.V., Talskikh A.I., Vlasova I.I., Kotina E.L. Age-related pattern in bark formation of *Betula ermanii* growing in volcanic environments from southern Sakhalin and Kuril Islands (Northeast Asia) // *Trees*, 2022. 36, 915–939. DOI: 10.1007/s00468-021-02257-x

3. Для ретроспективного прогноза восьми сильнейших землетрясений в XXI веке (с магнитудой больше 8) применена авторская методика обработки данных на основе метода LURR (load/unload response ratio), которая успешно прошла апробацию при исследовании сейсмичности о. Сахалин. Результаты свидетельствуют о средней для прогнозов эффективности. Детальное исследование эффективности метода LURR выполнено для южных Курильских островов. На примере Шикотанского землетрясения 4.10.1994 г. были выбраны оптимальные параметры обработки (уровень дискриминации, порог скользящего окна, диапазон рабочих магнитуд) каталога землетрясений, что позволило ретроспективно получить предвестник в эпицентральной области за несколько месяцев до события. Основное преимущество методики – фиксированные (базовые) для всех расчётов параметры математической обработки и выборки землетрясений.

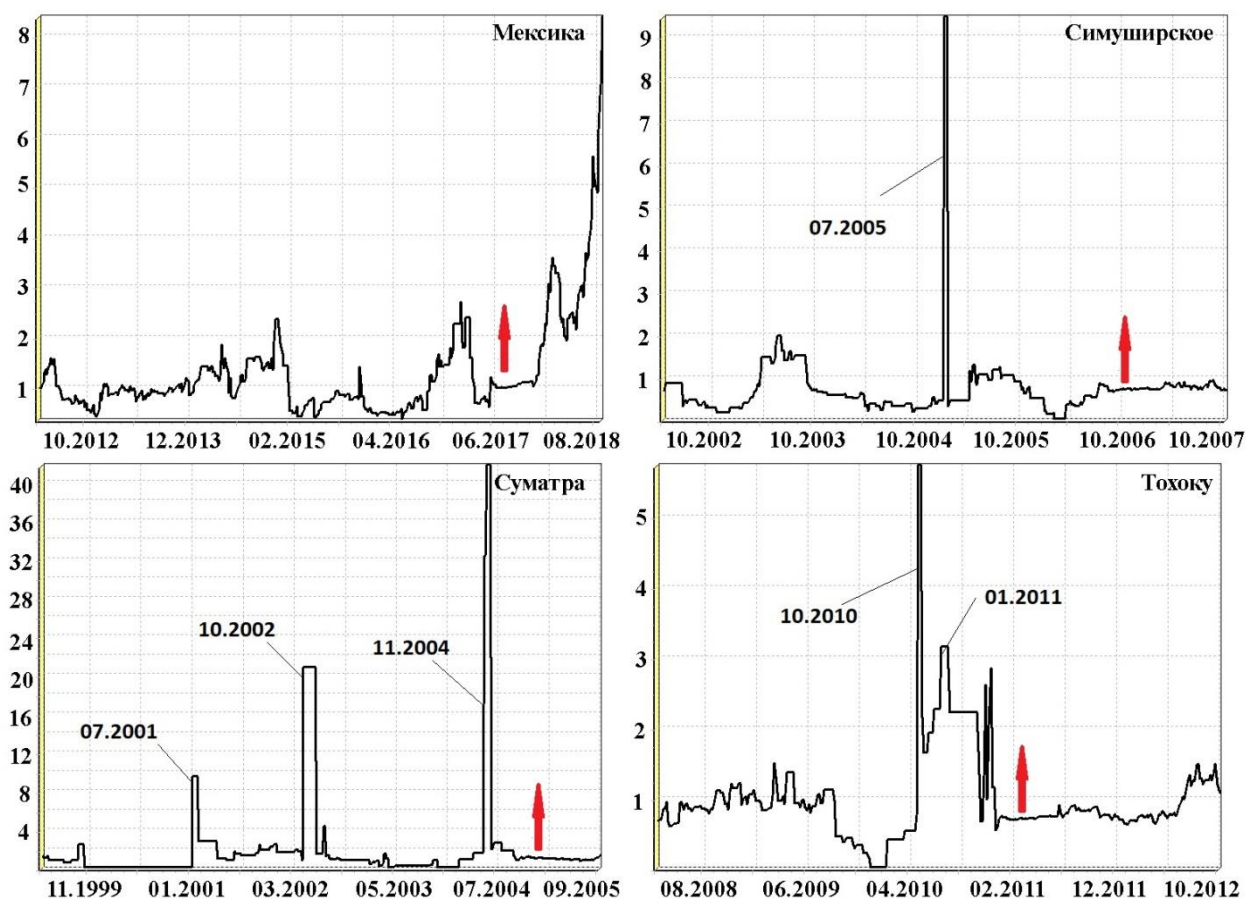


Рис. 3. Графики параметра LURR (окно сглаживания 180 дней) для землетрясений: Суматра, Мексика, Симуширское и Тохоку. Стрелками указаны моменты возникновения землетрясений.

Публикации:

Закупин А.С., Андреева М.Ю. Особенности применения метода LURR для анализа сейсмичности Южных Курильских островов // Тихоокеанская геология. 2022. Т.41, № 3. С. 37-49. DOI: 10.30911/0207-4028-2022-41-3-37-49

Закупин А.С., Богинская Н.В. Среднесрочные прогнозы землетрясений методом LURR на примере сильнейших землетрясений XXI столетия // Литосфера. 2022. № 6 (в печати).

4. Представлены интеграционные исследования специалистов из ДВГИ ДВО РАН и ИМГиГ ДВО РАН базальтового вулканизма кальдеры Медвежья (остров Итуруп). Использование современных методов элементного анализа и численного моделирования, позволили доказать существование позднеплейстоцен-раннеголоценового этапа геодинамической перестройки Курильской островодужной системы. Аномальные размеры вулканической структуры, уникальный магнезиальный базальтовый вулканизм и рениевая минерализация, связаны с влиянием на современный островодужный магматизм не только субдукционных (возраст, угол наклона и скорость погружения океанической плиты), но и региональных тектонических событий, реактивацией правосторонних сдвиговых нарушений на огромной территории северо-восточной Азии, включая Камчатку, побережье о. Хоккайдо, северной части о. Хонсю и Западно-Сахалинские горах.

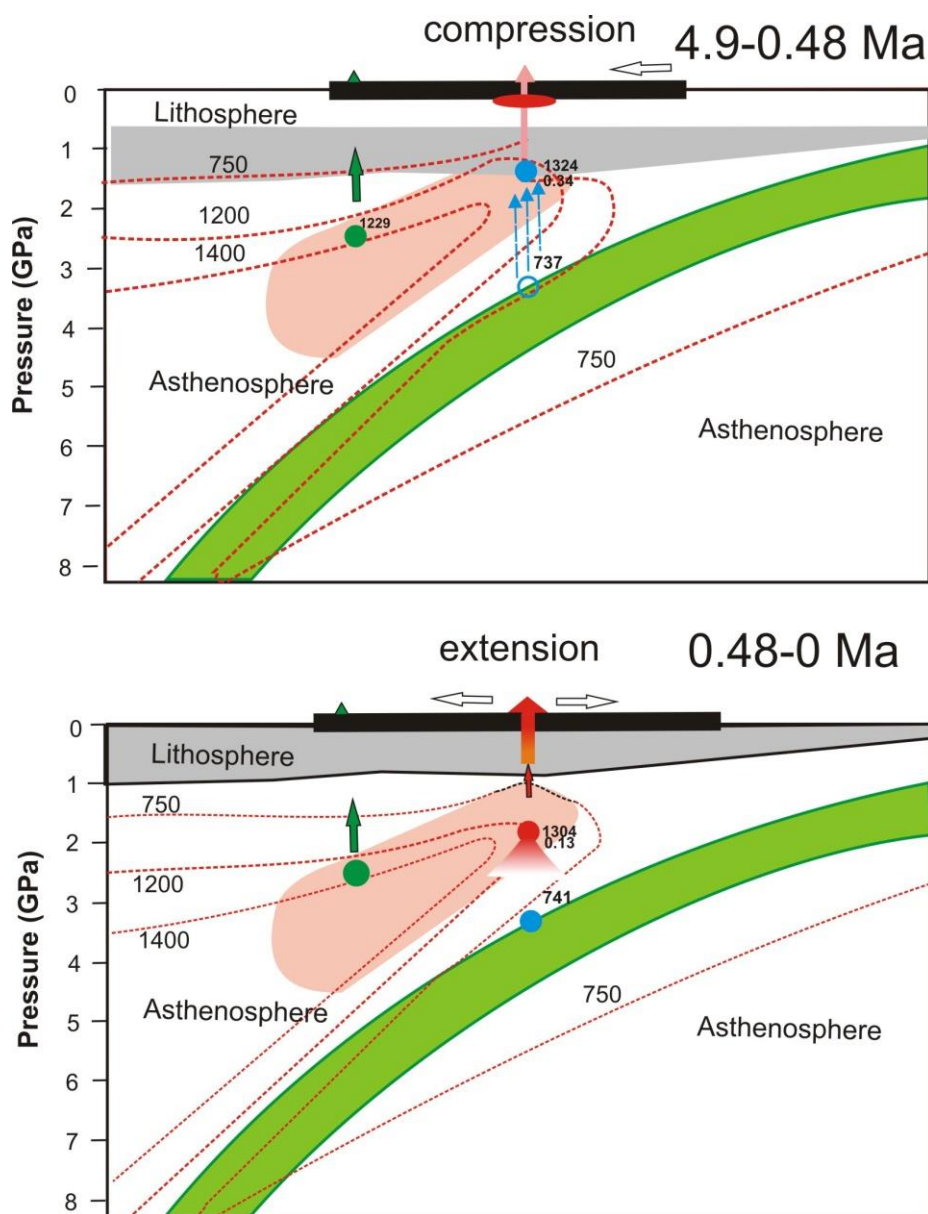


Рис. 4. Модель эволюции вулканизма кальдеры Медвежьей

Публикации:

Martynov Yu.A., **Rybin A.V.**, Chibisova M.V., Ostapenko D.S., Davydova M.Yu. Basaltic volcanism of Medvezh'ya caldera on the Iturup Island of Kurile Isles: impact of regional tectonics on subduction magmatism // International Geology Review. 2022. DOI: 10.1080/00206814.2022.2039885

5. Впервые был выполнен сравнительный анализ вариаций объёма и толщин льда для регионов Охотского моря и в Татарском проливе на фазе максимального развития ледяного покрова с учётом его торосистости в период с 2000 по 2020 гг. По спутниковым снимкам в видимом диапазоне ледовым аналитиком определены границы зон льда различного возраста в Охотском море и Татарском проливе на середину февраля и марта в период с 2000 по 2020 гг. Площади зон вычислены по спутниковым снимкам микроволнового диапазона с учётом сплоченности льда, а средневзвешенная толщина рассчитана с учётом коэффициента торосистости ледяного покрова. На основе этих данных были вычислены объёмы льда в исследуемых акваториях на фазе максимального развития ледяного покрова как среднее за февраль и март. Анализ межсезонных вариаций позволил заключить, что объём льда в Охотском море в целом уменьшился на 56.2 % или 292 км³. Средняя скорость уменьшения льда в Охотском море 26.7 % / 10 лет. Изменение объёма произошло на ~42% за счёт уменьшения ледовитости и на ~58% за счёт уменьшения толщины льда. В Татарском проливе объём льда уменьшился на 30% (3.4 км³), что в процентном выражении соответствует скорости отрицательной тенденции 14.2% / 10 лет. Поскольку ледовитость пролива в исследуемый период времени оставалась постоянной, то изменения объёма произошли исключительно за счёт уменьшения толщины льда.

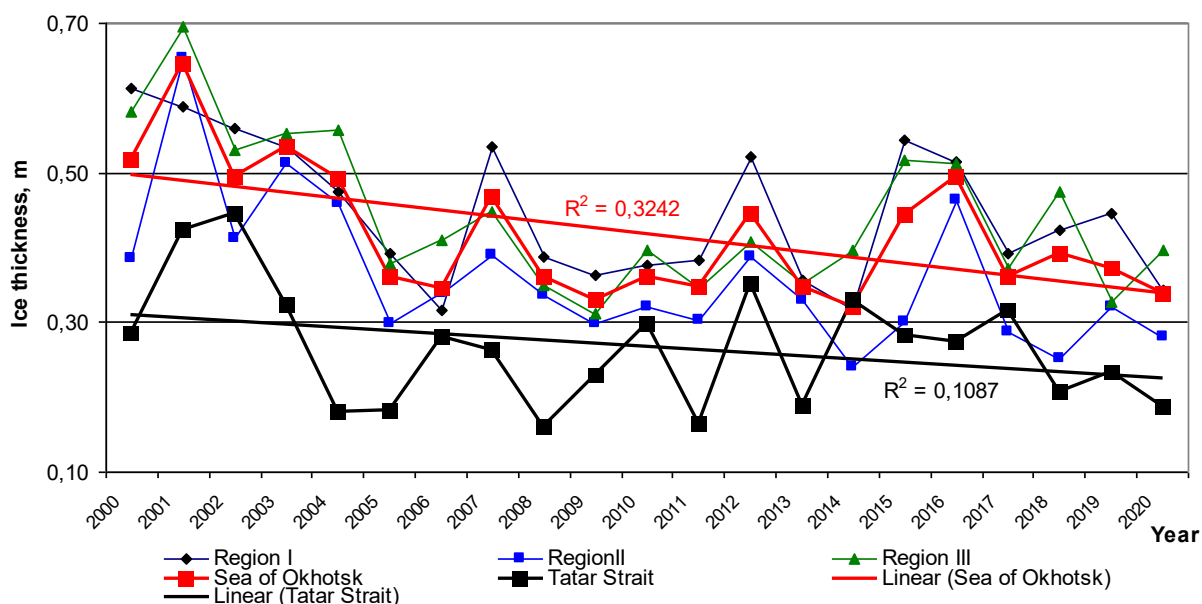


Рис. 5. Вариации расчётной толщины льда в Охотском море и в Татарском проливе в период с 2000 по 2020 гг. на фазе максимального развития ледяного покрова

Публикации:

Pishchalnik V.M., Dorofeyeva D.V., Truskov P.A., Romanyuk V.A., Minervin I.G. Variations in the volume of ice in the sea of Okhotsk and the Tatar Strait at the phase of maximum ice extent development for 2000–2020 // *Continental Shelf Research*, 2022, 236, 104663. DOI: 10.1016/j.csr.2022.104663

6. Впервые проведена типизация форм аккумулятивного рельефа, образование которых связано с газогидротермальной активностью в пределах речных долин на Курильских островах (влк. Менделеева и влк. Баранского) и Камчатке (влк. Мутновский и Узон-Гейзерная кальдера). Установлено, что вторичная проработка гидротермальными растворами аллювиальных отложений и коренных пород вызывает кардинальное изменению как их физических свойств, так и особенностей протекания флювиальных процессов. Типичными процессами в долинах геотермальных зон являются не только образование разнообразных натечных форм и цементация отложений поймы и террас в местах выхода минерализованных термальных источников, но и формирование оползневых псевдотеррас и перегораживание водотоков плотинами, сложенными склоновым и селевым материалом. При затухании газогидротермальной деятельности оползневые тела и натечные формы зарастают и морфологически выглядят как обычные речные террасы.

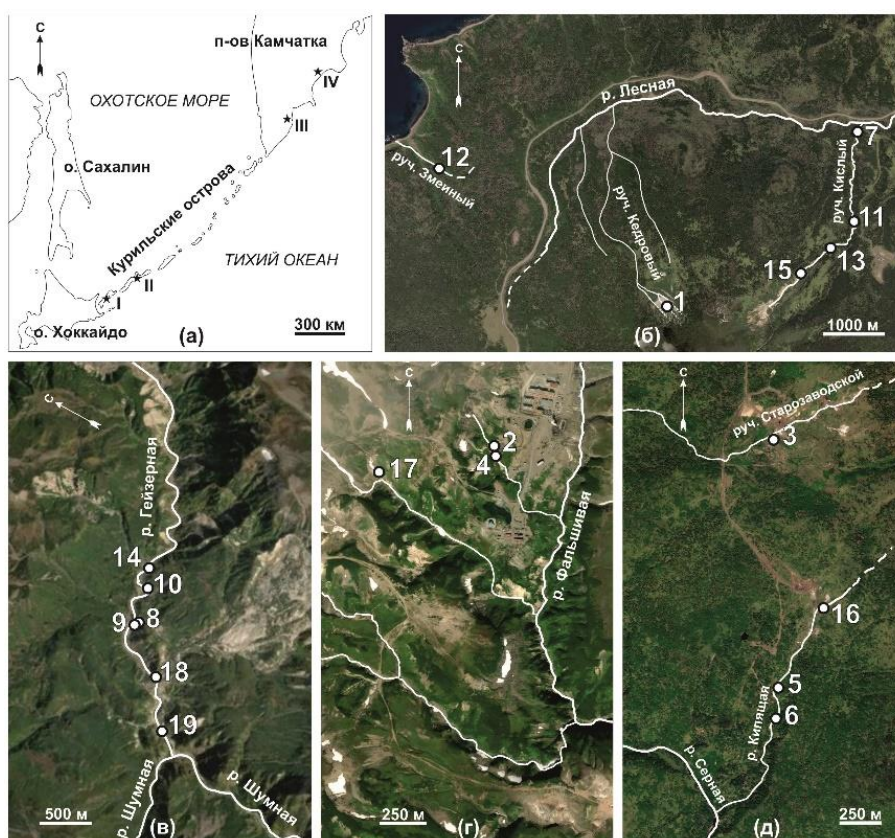


Рис. 6. Схемы расположения объектов исследования и конкретных примеров аккумулятивных форм рельефа в долинах с газогидротермальными проявлениями (а). Вулканические массивы: I – Менделеева (о. Кунашир), II – Баранского (о. Итуруп), III – Мутновский (Камчатка); IV – Узон-Гейзерная кальдера (Камчатка). Бассейны рек: (б) – Лесной и руч. Змеиного, влк. Менделеева; (в) – Гейзерной (Узон-Гейзерная кальдера); (г) – Фальшивой, влк. Мутновский; (д) – Серной, влк. Баранского.

Публикации:

Лебедева Е.В., **Жарков Р.В.** Аккумулятивные формы рельефа в долинах с газогидротермальными проявлениями (на примере водотоков ряда вулканических массивов Курило-Камчатского региона) // Геоморфология, 2022, том 53, № 1, с. 81–100. DOI: 10.31857/S0435428122010096

Lebedeva E.V., **Zharkov R.V.** Accumulative Landforms in Valleys with Gas-Hydrothermal Occurrences (from the Example of Watercourses of Some Volcanic Massifs in the Kuril—Kamchatka Region) // Doklady Earth Sciences, 2022, Vol. 506, Suppl. 1, pp. 7–18. DOI: 10.1134/S1028334X22700131

7. Рассмотрена проблема оценки максимально возможной региональной магнитуды землетрясения (M_{max}). Уточнены два аспекта: статистический, а также исторический и палеосейсмический. Сравняются частотный и доверительный подходы, используемые в задаче. Общие особенности байесовского подхода обсуждаются в рамках задачи M_{max} . Получена связь между квантилями единичного события и максимальным событием в будущем временном интервале T . Классифицированы различные оценки M_{max} , используемые в сейсмологической практике. В качестве более адекватной и стабильной альтернативы M_{max} предложены квантили $Q_q(T)$ максимального землетрясения, рассматриваемого в будущем временном интервале T . Эти квантили позволили выбрать временной горизонт T и уровень квантиля q для надежной оценки максимально возможных величин.

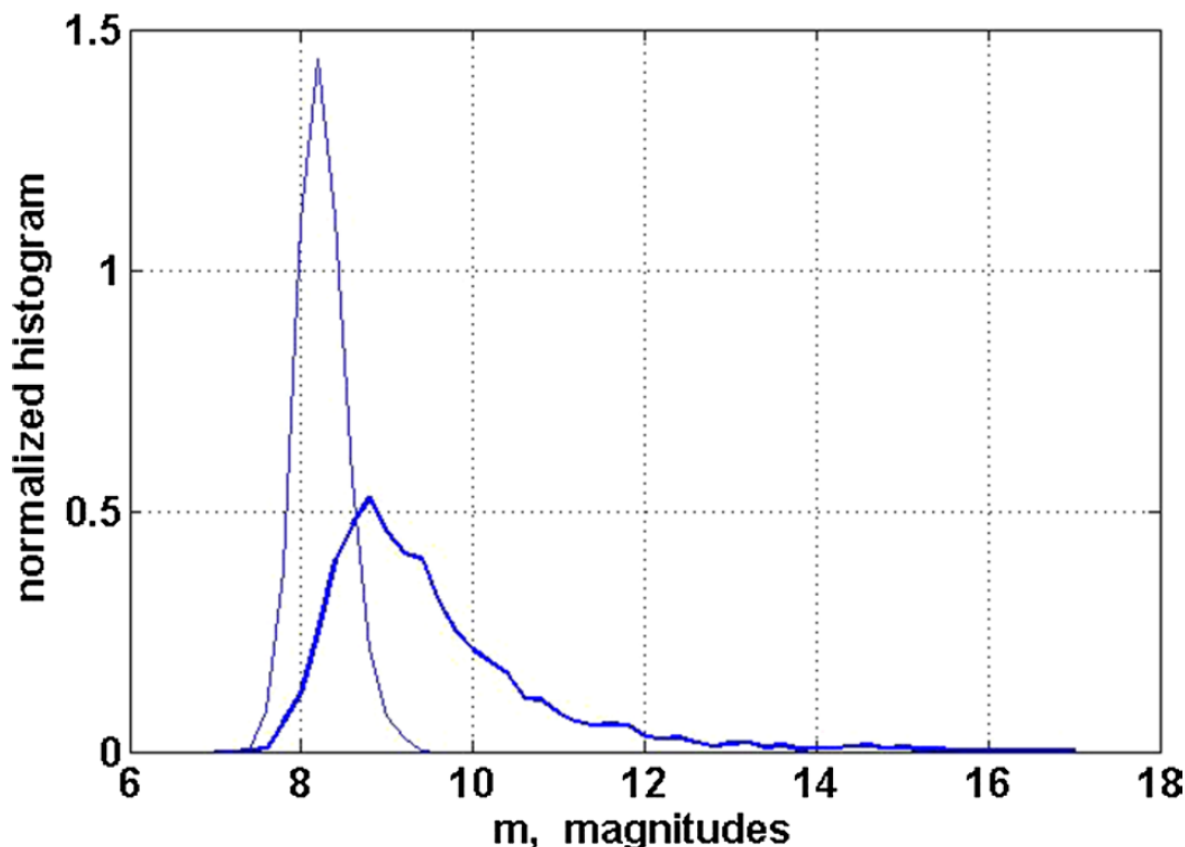


Рис. 7. Нормализованные гистограммы (оценки плотностей вероятности) M_{max} выделены жирной линией, $Q50(0,95)$ – тонкой линией; ячейка гистограммы равна величине 0.2.

Публикации:

Pisarenko V.F., Rodkin M.V. Approaches to Solving the Maximum Possible Earthquake Magnitude (M_{max}) Problem // Surveys in Geophysics. 2022. Vol. 43. P. 561–595 DOI: 10.1007/s10712-021-09673-1.

8. Проанализированы химический состав и состав стабильных изотопов углерода газов из трех грязевых вулканов Джунгарского бассейна (Китай) и сопоставлены с соответствующими им пластовыми газами близлежащих нефтегазовых месторождений. Выявлены постгенетические процессы, которые происходят в грязевых вулканах и приводят к изменению состава грязевулканических газов – изотопному облегчению и повышению сухости. Изотопное и молекулярное фракционирование контролируется адвекцией газов, диффузией и взаимодействием газ-вода-порода-микроорганизмы. Установлено, что сильный поток газа может сдерживать молекулярное фракционирование. Указанные геохимические процессы необходимо учитывать при оценке нефтегазообразования в регионе по просачивающимся газам.

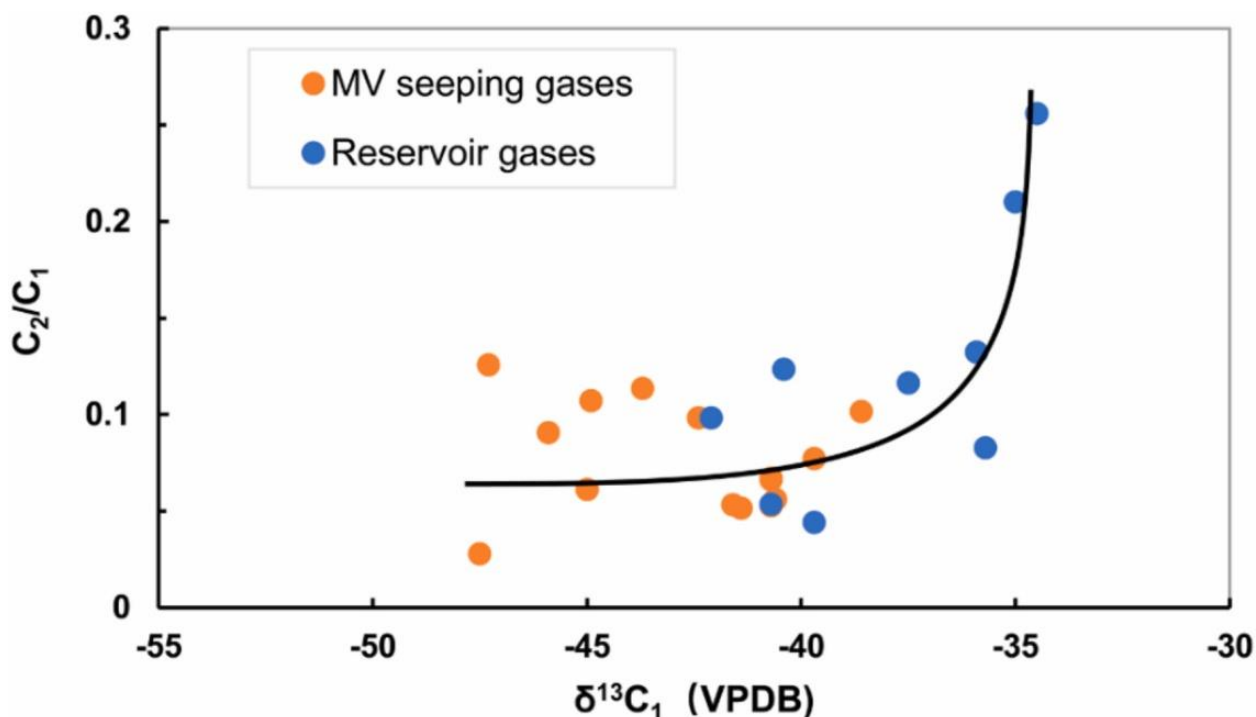


Рис. 8. Диаграмма изотопного ($\delta^{13}C_1$) и молекулярного (C_2/C_1) состава пластовых (Reservoir gases) и грязевулканических (MV seeping gases) газов Джунгарского бассейна (Китай).

Публикации:

Xu W., Zheng G., Ma X., Fortin D., Fu C.C., Li Q., Chelnokov G.A., **Ershov V.V.** Chemical and isotopic features of seepage gas from mud volcanoes in southern margin of the Junggar Basin, NW China // *Applied Geochemistry*. 2022. Vol. 136. 105145. DOI: 10.1016/j.apgeochem.2021.105145

9. На основе комплексного изучения отложений палеозера впервые для горной части о. Итуруп восстановлено развитие природной среды, начиная с позднеледникового (за последние 12 400 кал. л.). Развитие обстановок осадконакопления и ландшафтов контролировалось наряду с климатическими изменениями влиянием таких региональных факторов, как морские течения и вулканические пеплопады. На острове ярко проявилось похолодание позднего дриаса, структура которого хорошо совпадает с глобальными записями. Похолодание было более выражено, чем на юге Курил, за счет охлаждающего влияния Охотского моря, имевшего высокую ледовитость.

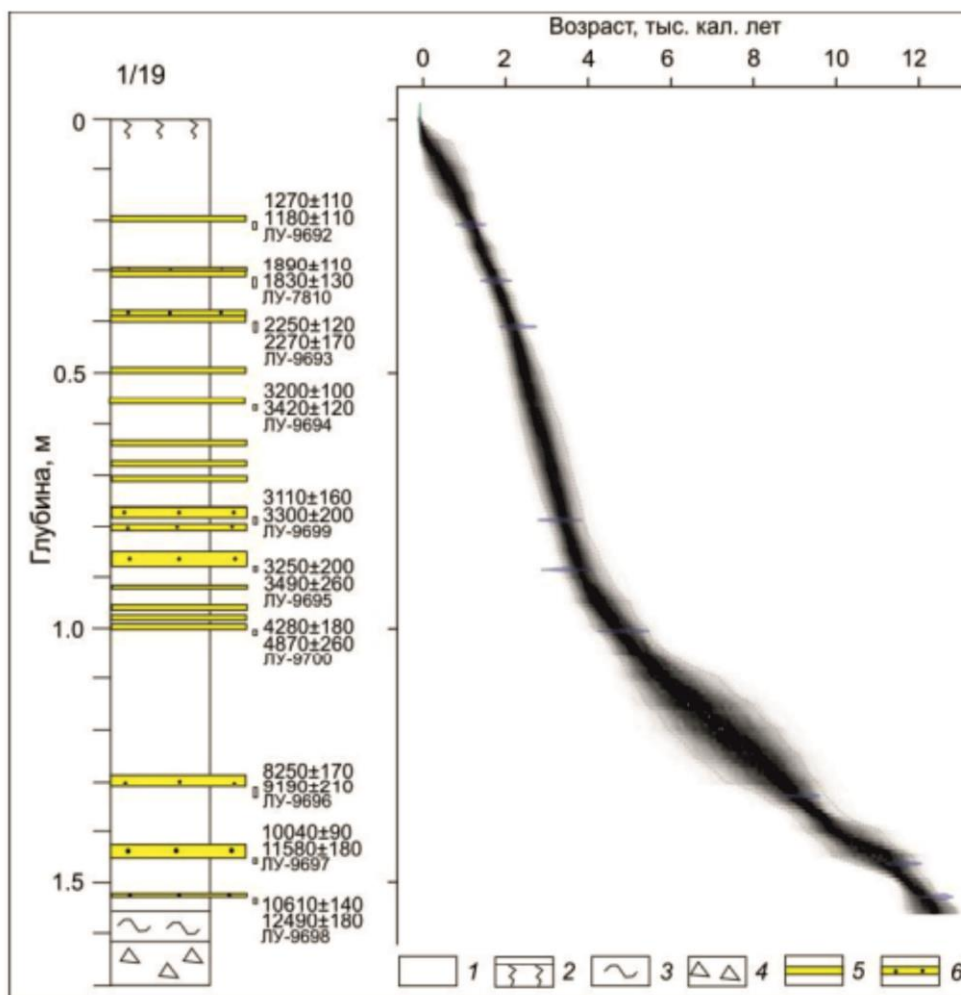


Рис. 9. Строение разреза и возрастная модель накопления озерно-болотных отложений на плато центральной части о. Итуруп. 14С-дата ЛУ-9694 исключена из модели «возраст-глубина». 1 – торф, 2 – почва, 3 – суглинок, 4 – щебень, 5 – вулканический пепел алевритового состава, 6 – вулканический пепел песчаного состава.

Публикации:

Разжигаева Н.Г., Ганзей Л.А., Гребенникова Т.А., Мохова Л.М., Дегтерев А.В., Ежкин А.К., Рыбин А.В., Арсланов Х.А., Максимов Ф.Е., Петров А.Ю. Запись изменений природной среды в озерно-болотных отложениях горной части острова Итуруп с позднеледникового // Тихоокеанская геология, 2022, Т. 41, № 2, с. 59-74. DOI: 10.30911/0207-4028-2022-41-2-59-74

Razzhigaeva N.G., Ganzey L.A., Grebennikova T.A., Mohova L.M., Degterev A.V., Ezhkin A.K., Rybin A.V., Arslanov H.A., Maksimov F.E., Petrov A.YU. Records of environmental changes in lacustrine-swamp sequences within mountain area of the Iturup Island since the Late Glacial // Russian Journal of Pacific Geology, 2022, T. 41, № 2, s. 59-74. DOI: 10.30911/0207-4028-2022-41-2-59-74

10. За время наблюдений за морским волнением и температурой воды в течение 42 суток в исследуемом районе перемещались шесть циклонов, которые вызвали поверхностные волны высотой от 1 до 3.6 метра. Записи колебаний температуры морской воды позволили обнаружить четыре случая значительных изменений температуры, достигающих 8.5°C, при фоновых колебаниях около 1°C. Установлено, что длительность колебаний в следе циклона может достигать 10 суток. Анализ синоптических карт показал, что в случае прихода очередного циклона ранее чем через 10 суток после начала образования следа предыдущего циклона, образуется короткий след, который разрушается в результате перемешивания верхнего слоя океана штормовым волнением. При этом наблюдались два случая, когда после резкого уменьшения температуры и подошедшего к этому моменту времени шторма, след вообще не формировался. Показано, что коэффициент, связывающий доминирующую частоту внутренних волн – околониерционных колебаний, в следе тайфуна ω с инерционной частотой f для наблюдаемых нами данных равен 0.253, что близко к данным других авторов - величине 0.2. Характерные горизонтальные длины внутренних волн в направлении их перемещения, для скоростей передвижения циклонов от 15 до 35 узлов в направлении их движения составляют от 304.6 до 1066.1 км.

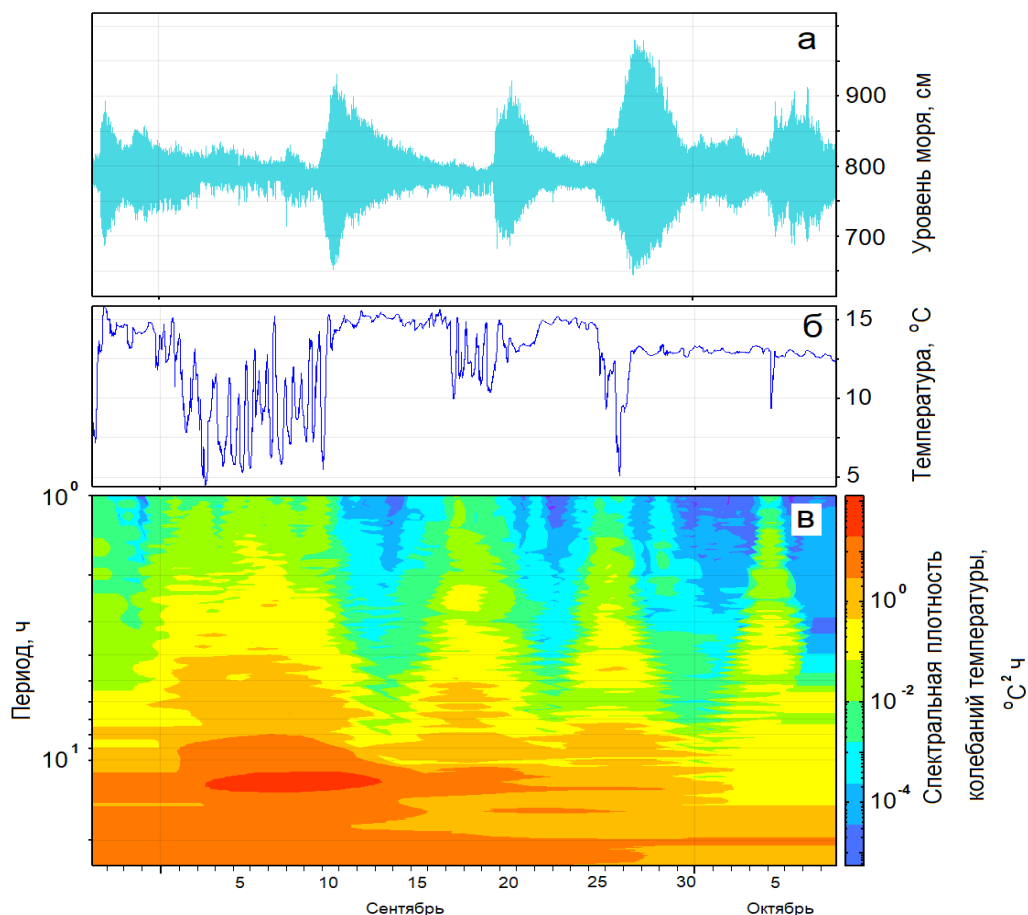


Рис. 10. Графики колебаний уровня моря с вычтенным предвычисленным приливом (а), температуры морской воды (б) и диаграмма текущей спектральной плотности колебаний температуры воды (в).

Публикации:

Kovalev P.D., Squire V.A., **Kovalev D.P.**, Zaytsev A.I., 2022. Features of Formation of the Cyclone Wakes (Fluctuations in Seawater Temperature) in the Area of Cape Svobodny, the Southeastern Part of the Sakhalin Island // *Physical Oceanography*, 29(1), pp. 30-46. DOI: 10.22449/1573-160X-2022-1-30-46

11. По результатам комплекса полевых и камеральных работ, выполненных в 2005-2021 гг. получены и проанализированы данные по особенностям строения котловин и динамике развития 15 кратерных и кальдерных озер региона. Рассчитаны их основные морфометрические характеристики (в т.ч. с использованием современной методики цифровой эхолокационной съемки). Установлено, что группа кальдерных озер менее однородна по всем морфометрическим показателям. Выявлено, что котловины водоемов одного генетического типа и на Курилах, и на Камчатке схожи по формам и глубинам, но размеры котловин камчатских водоемов в целом больше курильских. Установлено, что котловины ряда кальдерных озер региона осложнены эксплозивными воронками, экструзивными или эффузивными куполами со следами гидротермальной деятельности. Важной отличительной чертой многих вулканических озер является возможность стремительного изменения их основных характеристик (формы, объема, температуры, химического состава воды и др.) в широких пределах, что обусловлено особенностями функционирования близлежащих вулканических центров. Получено представление о скоростях изменения уровней озер для интервалов в несколько десятилетий.

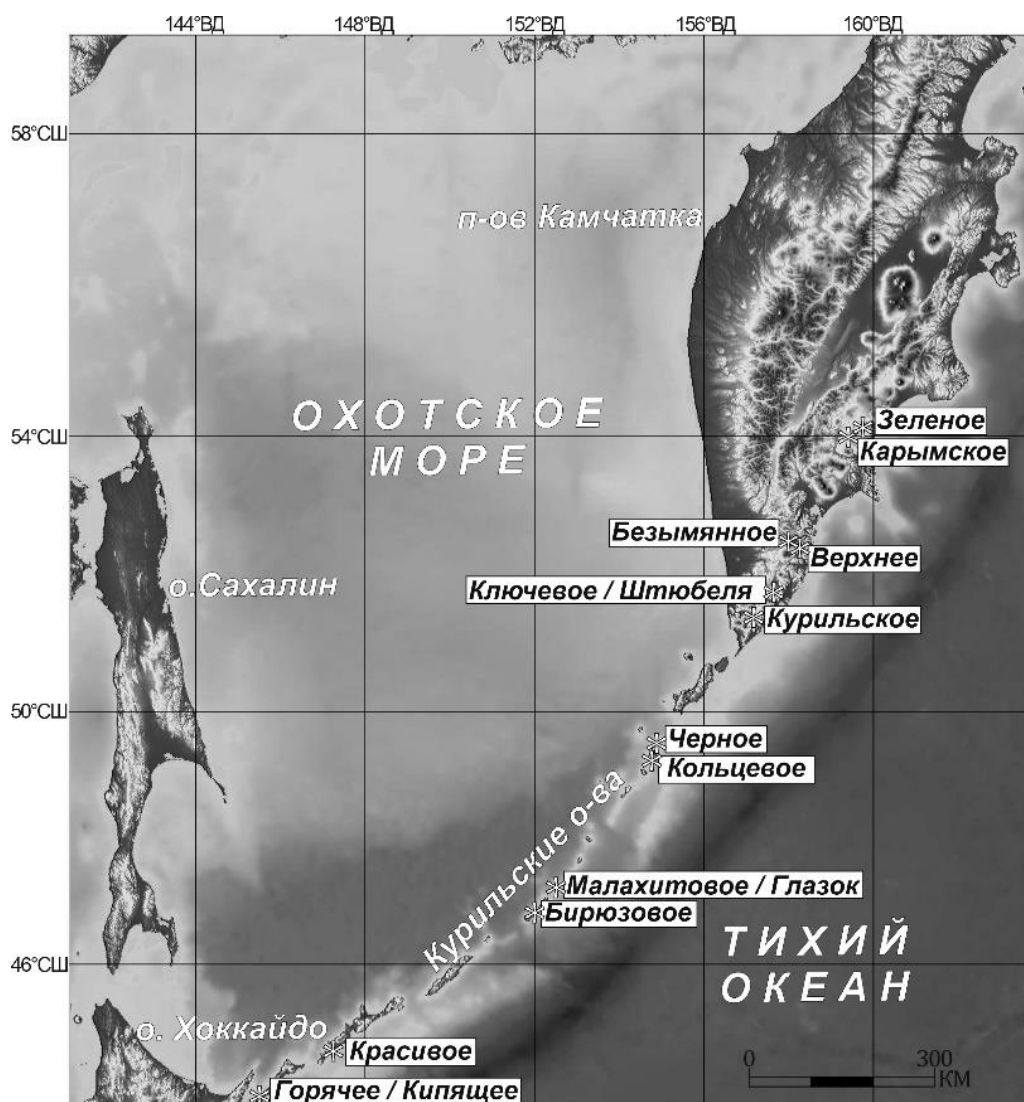
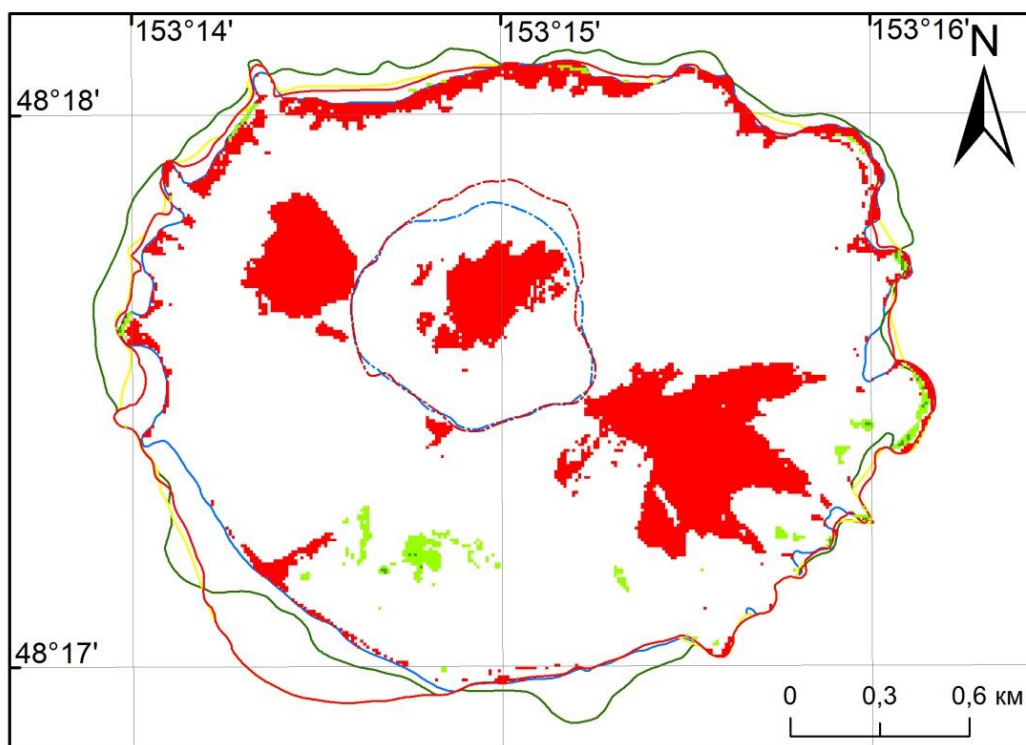


Рис. 11. Карта расположения рассматриваемых кратерных и кальдерных озер Курильских о-вов и п-ова Камчатка (обозначены звездочкой)

Публикации:

Козлов Д.Н., Лебедева Е.В. Кратерные и кальдерные озера Дальнего Востока России: морфология котловин и динамика развития // Известия Российской академии наук. Серия географическая, 2022, том 86, № 2, С. 204–219. DOI: 10.31857/S2587556622020054

12. Изучение масштабов и характера вулканических извержений позволяет понять реакцию природной среды на эти воздействия, прогнозировать темпы сукцессии, а также способствует обоснованию оценки вулканической опасности. Проанализирован временной ход изменения площади острова Райкоке, максимальных и средних значений вегетационного индекса (NDVI) в его пределах с 1972 по 2021 г. До извержения 2019 года растительный покров занимал порядка 80 % от суммарной площади острова в 2018 г. Районы, лишенные растительного покрова, приурочены к крупным подвижным осыпным склонам, пляжу, краевым частям лавовых потоков по периметру острова, а также крупноглыбовым развалам дна кратера. По состоянию на 2021 г. сомкнутый растительный покров занимает не более 0,03 % от площади острова и фрагментарно расположен в центральной части южного склона, нижних частях восточного, северного и западного склона. Анализ эруптивной деятельности вулкана Райкоке и временного хода NDVI позволяет предположить, что потребуется порядка 100 лет для того, чтобы растительный покров занял площадь, сопоставимую с площадью до извержения 2019 г.



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Изменение растительного покрова	Изменение положения береговой линии	
■ непокрытые растительностью площади в 2018 г. (NDVI < 0,2)	 2018	 2019
Площади, занимаемые растительностью в 2021 г.	 2020	 2021
■ NDVI - 0,2-0,4	Изменения кромки кратера	
■ NDVI > 0,4	 2018	 2021

Рис. 12. Динамика компонентов геосистемы острова Райкоке (Курильские острова).

Публикации:

Верхотуров А.А., Мелкий В.А. Геоинформационный анализ пространственной изменчивости геосистемы острова Райкоке (Курильские острова) // ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2022. Т. 28. № 1. С. 139-147. DOI: 10.35595/2414-9179-2022-1-28-139-147

13. Детально изучена бриофлора основных древесных пород листопадных пойменных лесов центральной части острова Сахалин в бассейнах самых крупных рек – Тыми и Пороная. Выявлено 10 видов печеночников (Marchantiophyta) и 62 вида мхов (Bryophyta). Массовыми видами в исследуемых сообществах являются *Anomodon thraustus*, *Anomodontella longifolia*, *Homalia trichomanoides*, *Neckera pennata*, *Plagiomnium acutum*, *Pylaisia polyantha* и *P. condensata*. Для мхов *Anomodon thraustus*, *Dicranum cf. bonjeanii*, *Fissidens cf. bryoides*, *Homalia trichomanoides*, *Leucodon sciuroides*, *Myuroclada longiramea*, *Oncophorus virens*, *Raiiella fujisana* выявлены новые местонахождения на острове. Наиболее богаты эпифитами стволы тополя Максимовича – 50 видов, меньшее число видов выявлено на стволах ивы удской – 28 видов, ольхи волосистой – 23 вида, на стволах ильмов лопастного и японского – 21 вид. Восемь и 9 видов было зарегистрировано для ясеня маньчжурского и чозении толокнянколистной, соответственно. Исследованный район обладает низкой степенью сходства бриофлоры с экологически близкими лесами Камчатки (45 % общих видов) и южной частью Приморья (41 % общих видов)

Организации, авторы: ИМГиГ ДВО РАН – Каганов В.В., Коротеева Т.И.

Публикации:

Каганов В.В., Коротеева Т.И. Мхи и печеночники основных древесных пород пойменных лесов средней части острова Сахалин (Дальний Восток России) // *Arctoa*. 2022. Т. 31(2) (в печати)

14. Исследования лишенофлоры долинных лесов центрального Сахалина в бассейне реки Пиленга Тымовского района позволили обнаружить и описать новый для науки вид – *Coppinsiella extremiorientalis* I. V. Frolov, Yakovczenko & A. **Ezhkin**, spec. nov. MycoBank no. 842595 (рис. 13).



Рис. 13. *Coppinsiella extremiorientalis* (I. Frolov 2331). Scale = 0.5 mm.

Публикации:

Frolov I.V., Prokopiev I.A., Yakovchenko L.S., Galanina I.A., **Ezhkin A.K.** *Coppinsiella extremiorientalis* (Teloschistaceae, lichenized Ascomycota), a new species from the Russian Far East and a new genus to the region // Phytotaxa. 2022. 549 (2), 219–229. DOI: 10.11646/PHYTOTAXA.549.2.7

15. В южной части острова Сахалин, где в истекшем веке происходило активное хозяйственное освоение, следовательно, наибольшая трансформация природных ландшафтов и естественной растительности, появились местообитания, позволившие закрепиться на них ряду новых для флоры острова видов сосудистых растений. В результате исследований во вторичных сообществах нами выявлено 15 новых таксонов: *Acalypha australis* L., *Aegopodium podagraria* L., *Amphicarpaea japonica* (Oliv.) B. Fedtsch., *Asarum europaeum* L., *Astragalus uliginosus* L., *Dollingeria scabra* (Thunb.) Nees, *Cirsium vlassovianum* Fisch., *Geranium wilfordii* Maxim., *Ficaria verna* Huds., *Inula salicina* L., *Kalimeris incisa* (Fisch.) DC., *Paraixeris denticulata* (Houtt.) Nakai, *Plagiorhegma dubium* Maxim., *Sanicula chinensis* Bunge, *Senecio argunensis* Turcz. Из них *Ficaria verna* является новым видом и родом для флоры Российского Дальнего Востока и острова Сахалин, а *Asarum europaeum* – новый видом (рис. 14).

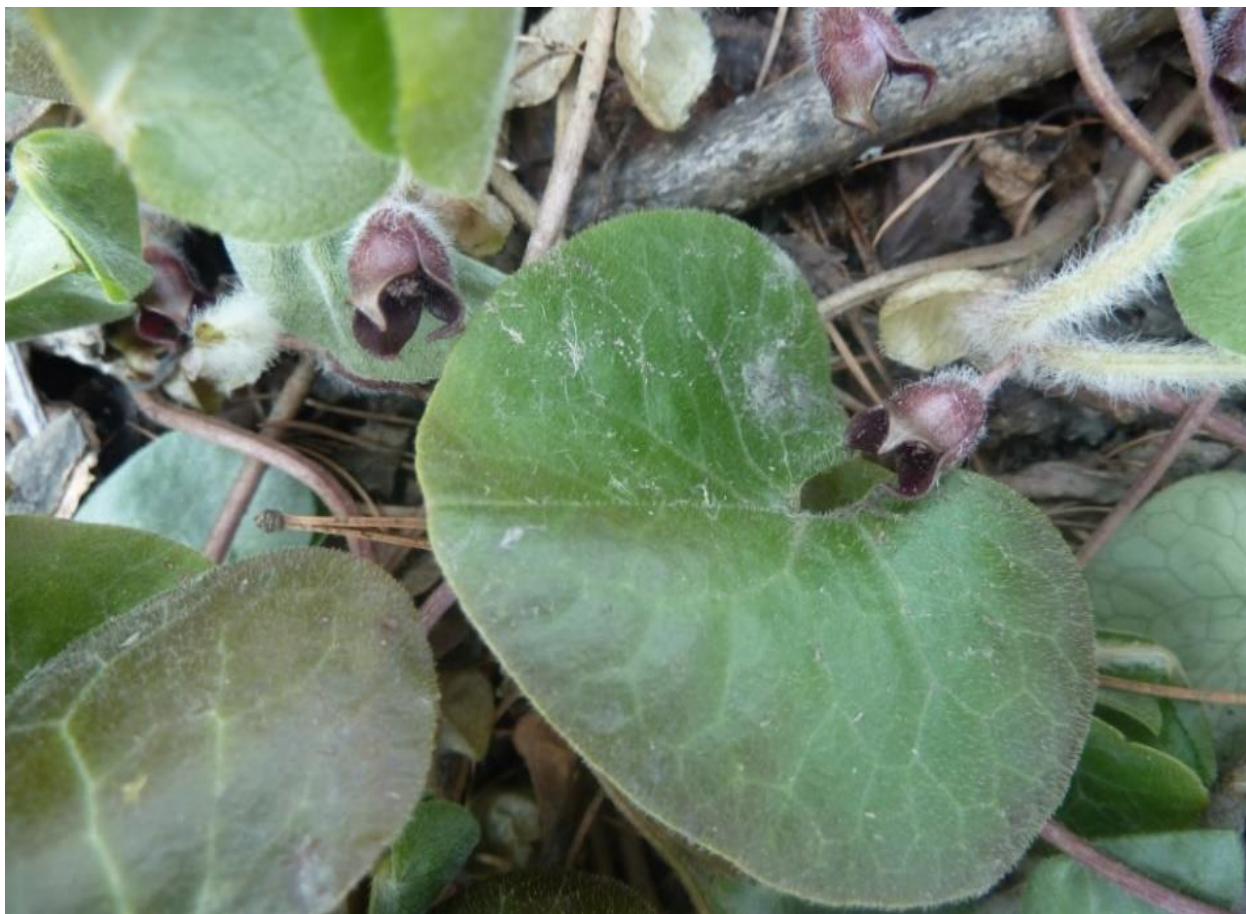


Рис. 14. *Asarum europaeum* – новый вид для флоры о-ва Сахалин и Российского Дальнего Востока.

Публикации:

Сабирова Н.Д., Сабиров Р.Н. Новые виды для флоры острова Сахалин // Ботанический журнал, 2022. Т. 107. № 10. С. 73-77. DOI: 10.31857/S000681362210009X

16. На примере Анивских газовых месторождений о. Сахалин, расположенных в непосредственной близости от активного Центрально-Сахалинского разлома, показаны зависимости уровня сейсмичности от графика добычи газа. Распределение эпицентров рассматриваемых землетрясений приурочено, как правило, к границам разрабатываемых месторождений, тогда как сами площади месторождений остаются практически асейсмичными. Основной вклад в уровень локальной сейсмичности вносит региональный Центрально-Сахалинский разлом и оперяющие его разломные структуры. Отмечено, что за весь период эксплуатации месторождений, в их окрестности не произошло какого-либо значимого землетрясения, которое бы нанесло ущерб социальной инфраструктуре. Однако корреляция динамики добычи и сейсмической активности ставит необходимость дополнительного изучения и сейсмологического мониторинга в районе месторождений.

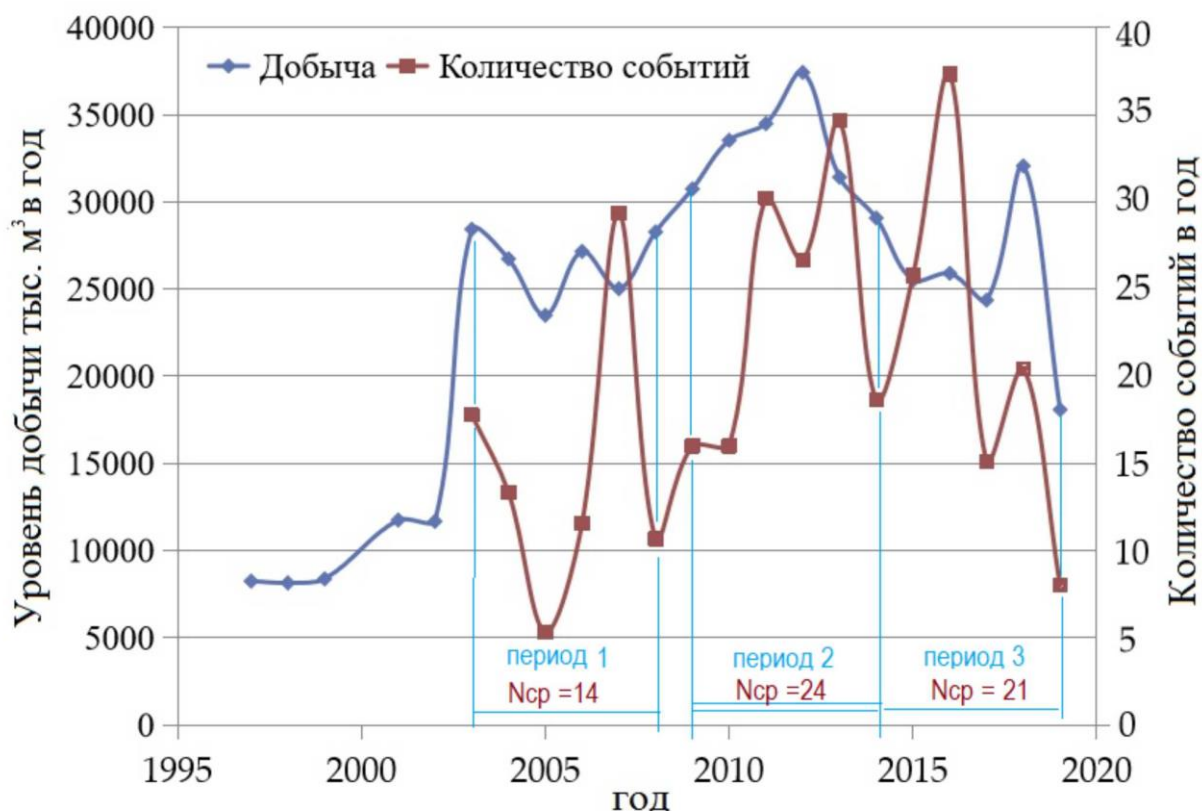


Рис. 15. Ежегодный уровень добычи газа и количества сейсмических событий в период с 1997 по 2018 гг.

Публикации:

Kamenev P.A. On the Relationship of an Active Fault Seismicity with the Gas Production Dynamics by Example of the Aniva Gas Fields on Sakhalin Island // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2022. Vol. 988. 022079. DOI:10.1088/1755-1315/988/2/022079