

## Институт морской геологии и геофизики

### Дальневосточного отделения Российской академии наук.

### Сведения о важнейших научных достижениях, полученных в 2015 г., и Основные результаты законченных работ (или крупных этапов работ)

### Института, полученные в 2015 г.

1. Выполнен анализ пространственно-временного распределения очагов цунамигенных землетрясений за последние 120 лет. Все события тектонического происхождения с магнитудой  $M > 7.5$ , интенсивностью цунами  $I > 1$ , и достоверностью событий  $V = 4$ , были сформированы в рабочий каталог. Общее количество событий составило 99, а периоды усиления активности возникновения очагов цунами варьировали от 10 до 50 лет. Разработан и успешно применен метод вычисления двумерного распределения событий (по широте и по времени), который позволил выявить особенности распределения количества событий и энергии цунамигенных землетрясений (рис. 1). (**Levin B.**, Sasorova E. The spatial-temporal distributions of the tsunamigenic earthquake sources // Science of tsunami hazards. Journal of Tsunami Society International. 2015. Vol. 34, N. 1. P. 23-49).

2. Выявлен малоизученный эффект генерации низкочастотных микросейсм (с периодами около 50 и 100 с) инфрагравитационными волнами, который предположительно оказывает влияние на процессы накопления/снятия напряжений в земной коре. Пики на близких периодах наблюдались во время штормов в двух различных районах юго-восточного побережья острова Сахалин в разные годы, что позволяет говорить о надежном выделении данного эффекта. Идентичность пиков, предположительно, обусловлена сходным характером прибрежного рельефа побережья (рис. 2). (Ковалев Д.П., Шевченко Г.В., Долгих Г.И., Возбуждение низкочастотных микросейсм инфра-гравитационными волнами на юго-восточном побережье о. Сахалин // Доклады РАН. 2015. Т. 461, № 4. С. 451–454.)

3. Показано, что существующее мнение о прекращении активной морфолитодинимической фазы развития береговой зоны при переходе температур на среднесуточные минусовые отметки, является ошибочным. Ухудшение волногасящих свойств пляжа (дренажных и шероховатости) при промерзании (до образования припая или наледи) является одним из наиболее существенных факторов рельефообразования на берегах приливных субарктических морей (рис. 3, высота отметок заплеска увеличивается на 30-45%) (**Афанасьев В.В.** Геоморфологические аспекты проблемы защиты берегов острова Сахалин // Геоморфология. 2015. № 2. С. 28-37).

4. Для определения границ отражения в дальневосточной зоне использован уникальный метод вторичных волн. Четкая отражающая граница выделена на глубине 350 км. Для определения природы этой границы использован градиентный способ изменения скорости волн с глубиной. Показано, что увеличение скорости Р-волн начинается с глубины 350 км. Теоретические данные свидетельствуют о том, что обычная граница фазовых переходов с глубины 410 км может переместиться на глубину 350 км (рис. 4) (**Тараканов Р.З., Веселов О.В., Андреева М.Ю.** О возможной границе фазовых переходов на глубине 350 км для зоны перехода от континента к океану // Доклады академии наук. 2015. Т. 460, № 5. С. 585-588).

5. Первые детальные изотопно-геохимические исследования разновозрастных вулканогенных образований острова Матуа позволили выделить основные этапы магматической эволюции субдукционной системы. Показано петрологическое сходство пород центрального и северного звеньев Курильской островной дуги, что свидетельствует об их формировании над «горячей», геохимически обогащенной, изотопно деплетированной литосферной мантией. Изменения составов вулканических пород острова Матуа в плейстоцене–голоцене дают основание предполагать смену геодинамического режима формирования (рис. 5, совместно с ДВГИ ДВО РАН) (Мартынов Ю.А., **Рыбин А.В.**, **Дегтерев А.В.**, Остапенко Д.С., Мартынов А.Ю. Геохимическая эволюция вулканизма о. Матуа (Центральные Курилы) // Тихоокеанская геология, 2015. Т. 34. № 1. С. 13-33).

б. Предложена гипотеза взаимосвязи неравномерного обращения Земли вокруг своей оси с периодичностью сейсмической активности в средних широтах обоих полушарий Земли – 50°-30° с.ш. и 0-30° ю.ш. Анализ динамики сейсмической активности Земли с 1895 г., показал, что существует явно выраженная периодичность усиления и ослабления сейсмической активности с периодом около 30 лет. Для низкочастотных составляющих временных рядов по угловой скорости вращения Земли максимумы сейсмической активности соответствуют завершающим этапам стадий уменьшения угловой скорости вращения (торможения). Минимумы сейсмической активности соответствуют стадиям увеличения угловой скорости (ускорения) (рис. 6, 7) (Левин Б.В., Сасорова Е.В. Динамика сейсмической активности Земли за 120 лет // ДАН. 2015. Т. 461, № 1. С. 82-87; Левин Б.В., Сасорова Е.В. О связи вариаций скорости вращения Земли и ее сейсмической активности // ДАН. 2015. Т. 464, № 3. С. 351-355).

7. По данным спутниковых и наземных наблюдений выявлен комплекс краткосрочных предвестников двух разрушительных землетрясений в Непале (25.04.2015 г.,  $M_w = 7.8$ ) и на о-ве Тайвань (20.04.2015 г.,  $M_w = 6.6$ ). В районе их эпицентров обнаружен аномальный ход следующих параметров: скрытого теплового потока с поверхности Земли (за 2 и 8 суток для первого и второго событий, соответственно); температуры точки росы и индекса относительной влажности (за 2 и 7 суток); струйных течений в верхней тропосфере или нижней стратосфере (за 27 и 8 суток) (рис. 8); числа слабых землетрясений (за 4 и 2 месяца). Данное исследование нацелено на поиск перспективных подходов к проблеме краткосрочного прогнозирования землетрясений. рис. (Hong-Chun Wu, **Ivan N. Tikhonov**, Ariel R. Cesped. Multi-parametric analysis of earthquake precursors // Russian Journal of Earth Sciences. 2015. Vol. 15, N. 3).

8. Построена объективная модель очага землетрясения ( $M_w=5.6$ ), произошедшего 12 июня 2005 г. в 4 ч 17 мин всемирного времени на северо-востоке острова Сахалин в окрестностях шельфового месторождения нефти и газа Пильтун-Астохское, промышленное освоение которого ведется с 1999 г. Проанализирована современная сейсмичность региона по результатам детальных сейсмологических наблюдений. Полученные результаты сопоставлены с новыми данными о геолого-тектонической обстановке исследуемого района (рис. 9) (**Коновалов А.В., Патрикеев В.Н., Сафонов Д.А., Нагорных Т.В., Семенова Е.П., Степнов А.А.** Пильтунское землетрясение 12 июня 2005 г. ( $M_w = 5.6$ ) и современная сейсмичность в районе нефтегазовых месторождений северо-восточного шельфа о. Сахалин // Тихоокеанская геология. 2015. Т. 34. № 1. С. 61-71.)

9. По результатам комплексных исследований – микросейсмического зондирования, изотопной и гидрохимической геотермометрии, математического моделирования – получены оценки глубины залегания резервуаров жидких и газообразных флюидов для грязевых вулканов Гора Карabetова и Шуго. По натурным данным проведена верификация используемой математической модели грязевулканической деятельности, которая показала адекватность этой модели и возможность ее использования для оценки основных параметров питающей системы других грязевых вулканов (**Ершов В.В.**, Собисевич А.Л., Пузич И.Н. Глубинное строение грязевых вулканов Тамани по данным натурных исследований и математического моделирования // Геофизические исследования. 2015. Т. 16. № 2. С. 69-76).

10. При статистическом анализе каталогов динамических параметров очагов землетрясений для двух сейсмоактивных регионов (Южные Курильские острова и северный Тянь-Шань) выявлено чередование периодов времени с низкими значениями спада напряжений, менее 1 МПа в потоке событий, и обычных периодов с разбросом такого спада в пределах 0.1-10 МПа. Важно, что корреляции между величиной спада напряжения и сейсмическим моментом имеют место для событий с ограниченными значениями момента или магнитуды. Подтверждено, что спад напряжений является независимым параметром, а информация о его временной зависимости важна для оценки сейсмического режима (рис. 10) (**Богомолов Л.М., Сычева Н.А., Закупин А.С., Каменев П.А., Сычев И.В.** Особенности распределения спада напряжений в очагах землетрясений (на примере двух сейсмоактивных регионов северной Евразии) // *Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук.* 2015. №2. С.64 -71).

11. Исследованы вариации радиуса Земли, дополнительные к известному линейному тренду расширения. Обнаружено, что их средняя частота составляет примерно 3 импульса в год, и они хорошо согласуются с моментами землетрясений с магнитудой более 7.2 ( $r=0.97$ ). Это позволило предположить, что главная часть вариаций объема Земли вызвана потоком сильных землетрясений, случившихся на поверхности Земли за тот же промежуток времени (рис. 11) (**Иванов В.В.** Вариации объема Земли при землетрясении // Вулканология и сейсмология. 2014. №6. С.401-411).

12. Выявлена важная особенность проявления Тохоку цунами 11.03.2011 г. в Японском море – на ряде японских и российских (в Приморье, но не на Сахалине) станций волны были зарегистрированы вскоре после землетрясения, за 1-2 часа до расчетного времени подхода цунами. Для объяснения этого явления (tsunami forerunner) предложена модель с учетом генерации волн подвижками дна в Японском море (принципиально важна горизонтальная составляющая косейсмических дислокаций). (совместно с Университетом Токио, Япония) (рис. 12) (Murotani S., Iwai M., Satake K., **Shevchenko G., Loskutov A.** Tsunami forerunner of the 2011 Tohoku earthquake observed in the Sea of Japan// Pure and Applied Geophysics. 2015. Vol. 172. P. 683–697).

13. По данным НСП установлено, что конические горы и холмы у подножья охотской окраины Курильской дуги являются экструзивными куполами с мощными ( $>1-2$  км) осадочными шапками. Они возникли в основном в плиоцене-квартере при внедрении вязкой магмы в кайнозойский чехол. На это указывают тонкослоистые склоновые чехлы, гладкость склонов и ряд других признаков. Рост конусов в основном прекратился, что видно по налеганию придонных осадков на их основание. Несколько небольших куполов описаны впервые и предварительно отнесены к лакколлитам (субвулканы), связанным с инъекциями жидкой магмы в кайнозойский чехол (рис. 13) (Ломтев В.Л., Патрикеев В.Н. Новое в строении подводных конических гор и холмов у подножья охотской окраины Курильской дуги (по данным НСП) // Вулканология и сейсмология. 2015. № 2. С. 44–55).

14. Выполнена оценка возможностей использования возобновляемых источников энергии в Сахалинской области и возможных вариантов ее использования применительно к конкретным условиям. Показано, что приоритетными видами возобновляемых энергоресурсов для использования в энергетике являются геотермальные и ветровые ресурсы, причем освоение ветроэнергетического потенциала наиболее перспективно в северо-восточной и юго-западной частях Сахалина, а также на всей территории Курильских островов, а предпосылки более масштабного применения геотермального потенциала имеются на островах Кунашир, Итуруп и Парамушир (**Ковалев П.Д., Ковалев Д.П., Шевченко Г.В.** Возобновляемые энергетические ресурсы Сахалинской области. Владивосток: Дальнаука. 2015.-207 с.).

15. Разработан подход к получению оперативной оценки высоты ожидаемого цунами на основе двумерной модели мелкой воды в комбинации с аналитической одномерной моделью наката. Использование аналитической модели для прибрежной части вместо сложной системы вложенных сеток позволяет не только получить выигрыш в оперативном получении оценок высоты цунами, но и демонстрирует хорошее согласие с реальными значениями. Метод проиллюстрирован на примере Чилийского цунами 27 февраля 2010 г. на побережья Японии (рис. 14) (Choi B.H, Kim K.O., Yuk J.H., **Kaistrenko V.**, Pelinovsky E. Analytical Rapid Prediction of Tsunami Run-up Heights: Application to 2010 Chilean Tsunami // Ocean and Polar Research, 2015. Vol. 37(1). P. 1-9).

16. Установлены особенности сеймотектоники зоны сочленения геологических структур Японии (ее северное сочленение, о. Хоккайдо) с Курильскими островами (Южные Курильские о-ва) и островом Сахалин. В целом район исследований характеризуется схожими типами механизмов очагов землетрясений, разбиение исследуемого района на отдельные сектора позволило для каждого участка выявить свои особенности: в сахалинском секторе преобладают взбросо-сдвиговые подвижки, в районе Южных Курильских островов – взбросы, в японском секторе, помимо взбросов в равном количестве присутствуют также пологие надвиги и сбросы. (**Злобин Т.К., Полец А.Ю.** Сеймотектонические особенности зоны сочленения структур Японии, Курил и Сахалина // Доклады академии наук. 2015. Т. 461. № 5. С. 589-592).

17. Получены новые сведения по результатам изучения и обобщения инструментальных и макросейсмических данных об ощутимых Невельских землетрясениях с магнитудой  $M_LH=6.3$  (6.0). Анализ пространственного распределения очагов главных событий и их афтершоков позволил отчетливо оконтурить очаговую область землетрясения, построить объективные дислокационные модели сильнейших событий (**Коновалов А.В., Нагорных Т.В., Сафонов Д.А, Ломтев В.Л.** Невельские землетрясения 2 августа 2007 г. и сейсмическая обстановка на юго-западной окраине о. Сахалин // Тихоокеанская геология. 2015. Т. 34. № 6. С. 57-73).

18. Представлены результаты исследований термальных источников Южных Курильских островов. Обобщены данные о физико-химических особенностях термальных вод островов, на основе которых выделено тринадцать гидрохимических типов по кислотности, газовому и химическому составам. Актуализированы вопросы современного рационального использования термальных вод в социально-экономической деятельности региона. Определены перспективы развития рекреации и туризма на базе термальных проявлений Южных Курильских островов (рис. 15) (**Жарков Р.В.** Термальные источники Южных Курильских островов / Владивосток: Дальнаука, 2014. 338 с.).

19. Выполнен детальный анализ сигналов, предшествующих вступлению цунами при землетрясении 11 марта 2011 г. у побережья Японии. Впервые установлен эффект генерации свободных гравитационных волн в океане длиннопериодными сейсмическими поверхностными волнами. Рассмотрены возможные механизмы генерации наблюдаемых гравитационных волн и выполнена оценка вклада вертикальных и горизонтальных компонент сейсмических движений дна в амплитуду этих волн (рис. 16) (*Носов М.А., Семенцов К.А., Колесов С.В., Матсумото Х., Левин Б.В.* Регистрация гравитационных волн, образованных в океане поверхностными сейсмическими волнами при землетрясении 11 марта 2011 г. у побережья Японии // ДАН. 2015. Т.461, № 5. С. 593-598).

20. По данным непрерывного сейсмопрофилирования методом отраженных волн (НСП МОВ), проведенного ИМГиГ в 80-е годы прошлого века, построена карта изопакит надбазальтовых, позднемезозойского, осадочно-траппового и кайнозойского чехлов прикурильской части ложа СЗ Пацифики. В итоге обнаружены дискордантность изопакит, региональное азимутальное несогласие и противоположный тренд изменения мощности в направлении СЗ-ЮВ, что указывает на кардинальные отличия в палеогеографии позднего мезозоя (эпиконтинентальный океан Тетис), раннего (палеосуша) и позднего кайнозоя (глубокая Пацифика с конусами выноса, рис. 17) (**Ломтев В.Л.** К строению мезокайнозойского осадочно-траппового чехла ложа Северо-Западной Пацифики // Вестник СВНЦ ДВО РАН. 2015. № 3. С. 30–39).

21. Рассчитано несколько методических задач регионального и планетарного гравитационного моделирования, показывающих, в каких случаях необходимо учитывать влияние сферической формы Земли. Приводится сравнение гравитационного эффекта равнозначных по массе и близких по форме объектов («плоский диск» и «сферический сегмент»), пропорционально меняющихся в размере. Результаты расчётов показывают, что при больших размерах гравитирующих объектов гравитационный эффект может превышать в 1,5 раза эффект от аналогичного по размеру «плоского объекта». Вместе с тем, двухмерное гравитационное моделирование, выполненное на сферической поверхности Земли при автоматическом выделении регионального фона, показало почти полное соответствие этих объектов (Сеначин В.Н., Лютая Л.М., Сеначин М.В. Некоторые вопросы гравитационного моделирования на сферической поверхности Земли // Вестник ДВО РАН. 2015. № 2. С. 43-48).

22. Приведены результаты экспериментальных исследований, направленных на изучение характера временных изменений естественных геофизических полей (ЕГП) над залежью газа, расположенной в зоне влияния активного регионального разлома, а также выявление связи этих изменений с сейсмичностью. Определен ряд характерных признаков изменения полей, проявляющихся только над залежью газа. Установлено, что проявляющиеся периоды неустойчивости ЕГП над залежью газа предшествуют конечной фазе подготовки сейсмических событий. (**Parovyshny V.A., Senachin V.N., Veselov O.V., Kochergin E.V.** Temporal variations in geophysical fields and earthquake forecasting issues. *Geodynamics & Tectonophysics*. Vol.6 (1).issue 1. P. 63–76).

23. Комплексными изотопно-геохимическими исследованиями подземных флюидов Южно-Сахалинского грязевого вулкана и Синегорского месторождения минеральных вод установлен единый источник водной и газовой составляющих. Данные по содержанию и распределению редкоземельных элементов в исследованных водах показывают, что формирование химического состава вод обусловлено как литолого-геохимическим составом водовмещающих пород, так и процессами смешения с метеорными водами (рис. 18, совместно с ДВГИ ДВО РАН) (Челноков Г.А., **Жарков Р.В.**, Брагин И.В., **Веселов О.В.**, Харитонов Н.А., Шакиров Р.Б. Геохимические характеристики подземных флюидов южной части Центрально-Сахалинского разлома // Тихоокеанская геология, 2015. Т. 34, №5. С. 81-95).

24. Получены первые результаты по изучению отложений цунами, произошедших в последние 2-3 тысячи лет, в прибрежных торфяниках Восточного Приморья. Определен возраст событий, оценены высота заплесков волн и дальность затопления на участках побережья с разным строением. Полученные результаты являются первым шагом для составления геологической летописи цунами для северо-западной части Японского моря. Исторические и позднеголоценовые палеоцунами, следы которых обнаружены в разрезах, были, по-видимому, более масштабными событиями, чем известные цунами XX века (рис. 19, совместно с ТИГ ДВО РАН, Университетом Хоккайдо, Санкт-Петербургским университетом, ВГУЭС). (Ганзей Л.А., Разжигаева Н.Г., Нишимура Ю., Гребенникова Т.А., **Кайстренко В.М., Горбунов А.О.,** Арсланов Х.А., Чернов С.Б., Наумов Ю.А. Осадки исторических и палеоцунами на побережье Восточного Приморья // Тихоокеанская геология, 2015. № 1. С. 79-95).

25. Для территории Охотского моря впервые выполнено комплексное тектоническое районирование осадочного чехла по литофизическим (вещественным), структурным и структурно-литофизическим (вещественным) признакам. Составленные десять тектонических карт в целом дают информацию как о пространственном распределении различных литофизических (вещественных) комплексов в рамках четырёх временных интервалов, так и об их тектонической структуре, которые необходимы для выявления закономерностей распределения газогидратов, нефте- и газопроявлений (**Семакин В.П., Кочергин А.В., Питина Т.И.** Тектоническое районирование осадочного чехла Охотского моря по литофизическим, структурным и структурно-литофизическим признакам. // *Geodynamics @ Tectnophysics*, 2014, 5(4), 1059-1075.

26. Представлены результаты многолетнего исследования кратерных озер Курильских островов. Обобщены данные о морфологии и генезисе кратерных озер региона, авторские батиметрические схемы и модели, данные о поствулканических процессах в пределах озерных котловин. Предложена классификация островных озер, а также проблемам современных методов исследования озер и интерпретации данных батиметрической съемки (рис. 20) (**Козлов Д.Н.** Кратерные озера Курильских островов. Южно-Сахалинск: ГБУК «Сахалинский областной краеведческий музей», ИМГиГ ДВО РАН, 2015. 112 с.).

27. Обобщены результаты многолетних исследований пищевых папоротников острова Сахалин, наиболее характерных компонентов травяного яруса лесных сообществ. Приведены сведения об их урожайности, химическом составе и запасах в различных типах леса и частях острова. Предложены принципы рационального использования и конкретные мероприятия по восстановлению продуктивности папоротниковых угодий. Экспериментальным путем установлено, что полное восстановление биологического потенциала и других характеристик ценопопуляций орляка обыкновенного после интенсивных заготовок происходит через 6-7 лет (Сабирова Н.Д., Сабиров Р.Н. Пищевые папоротники Сахалина. Владивосток: изд-во Дальнаука. 2015. 155 с.).

28. Проанализирована генетическая структура ели Глена *Picea glehnii* (микросателлитные последовательности и митохондриальная ДНК) популяций юга о. Сахалин, Хоккайдо и Хонсю. Обнаружено, что популяции юга Сахалина существенно обособлены генетически от популяций Хоккайдо. Кроме того, на Сахалине особенно ярко выражена генетическая интрогрессия генов аянской ели *Picea jezoensis*, как результат гибридизации двух видов. При участии ИМГиГ ДВО РАН. (Aizawa M., Yoshimaru H., Takahashi M., Kawahara T., Sugita H., Saito H., **Sabirov R.N.** Genetic structure of Sakhalin spruce (*Picea glehnii*) in northern Japan and adjacent regions revealed by nuclear microsatellites and mitochondrial gene sequences // Journal of Plant Research. Jan. 2015, Vol. 128, Iss. 1, pp. 91-102).

29. Выполнена оценка воздействия геотермальной электростанции «Океанская» в районе Старозаводского сольфатарного поля вулкана Баранского на острове Итуруп с использованием биологических индикаторов – лишайников. Значительное воздействие на окружающую среду было зафиксировано на расстоянии до 300-400 м от ГеоТЭС по состоянию эпифитных лишайников. В выбросах ГеоТЭС был обнаружен аммоний в высоких концентрациях, превышающих ПДК в 4,3 раза (Ежкин А. К., Жарков Р. В., Кордюков А. В. Оценка воздействия геотермальной электростанции «Океанская» (вулкан Баранского, о-в Итуруп) на окружающую среду методом лишеноиндикации // Вестник ДВО РАН. 2015. № 2. С 109-117).

30. Определены и проанализированы параметры и механизмы очага крупнейших событий серии землетрясений, произошедших в июле 2012 г. – июне 2013 г. в районе о. Уруп (Курильские острова, Россия). Впервые в Дальневосточном регионе и в практике сахалинских сейсмологических наблюдений выполнено массовое определение тензора сейсмического момента региональных землетрясений. Предложена модель, позволяющая оценить причины сложного характера сейсмического процесса в регионе на примере произошедших событий (рис. 21) (**Сафонов Д.А., Коновалов А.В., Злобин Т.К.** Урупская серия землетрясений 2012-2013 гг. // Вулканология и сейсмология. 2015. № 6. – в печати).