

## Глубинное строение сейсмоопасных регионов Земли (о. Сахалин)

А. Г. Родников<sup>1</sup>, Л. П. Забаринская<sup>1</sup> и Н. А. Сергеева<sup>1</sup>

Получено 29 января 2014 г.; опубликовано 12 апреля 2014 г.

По геолого-геофизическим данным построена геодинамическая модель глубинного строения Северного Сахалина в районе, где в 1995 году произошло Нефтегорское землетрясение. Геодинамическая модель глубиной до 40 км охватывает Северо-Сахалинскую осадочную впадину, западное обрамление впадины Дерюгина и разделяющий их офиолитовый комплекс. Впадина Дерюгина образовалась на месте древнего глубоководного желоба после того, как в позднемеловое-палеогеновое время плита Охотского моря субдуцировала под вулканическую дугу, расположенную вдоль Сахалина, а Северо-Сахалинский бассейн сформировался в то время на месте задуговой впадины. Офиолитовый комплекс, сложенный ультраосновными породами, фиксирует положение древней субдукционной зоны, действующей в позднемеловое-палеогеновое время. На поверхности субдукционная зона проявляется в виде глубинных разломов, простирающихся вдоль Сахалина. Очаг Нефтегорского землетрясения непосредственно образовался в связи с активизацией этой древней субдукционной зоны. **КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** Геодинамическая модель; глубинное строение; о. Сахалин; субдукционная зона; офиолитовый комплекс; глубоководный желоб; задуговой бассейн.

**Ссылка:** Родников, А. Г., Л. П. Забаринская и Н. А. Сергеева (2014), Глубинное строение сейсмоопасных регионов Земли (о. Сахалин), *Вестник ОНЗ РАН*, 6, NZ1001, doi:10.2205/2014NZ000121.

### Введение

Современные тихоокеанские окраины включают островные дуги и сопровождающие их глубоководные желоба, субдукционные сейсмоактивные зоны и задуговые бассейны. Основным элементом активных окраин является субдукционная зона, определяющая формы рельефа, глубинное строение, тектонику, сейсмичность, магматизм и формирование полезных ископаемых. Магматизм островных дуг – одно из наиболее важных проявлений глубинных процессов в зонах субдукции, дает возможность наиболее полно изучить строение древних субдукционных зон. Известна пространственная взаимосвязь поясов современного вулканизма островных дуг с субдукционными зонами. Активная цепь вулканов андезитового состава обычно размещается над сейсмофокальными зонами, где глубина очагов магмообразования достигает 70–100 км. Поэтому чем больше угол наклона субдукционной зоны, тем ближе к глубоководному желобу проявляется вулканизм.

<sup>1</sup>Геофизический центр Российской академии наук, Москва, Россия

По аналогии с современными сейсмофокальными зонами, древние субдукционные зоны являются структурными элементами активных окраин древних океанов, и в настоящее время представлены офиолитовыми швами или сутурами. Такие древние офиолитовые комплексы обнаружены на п-ове Шмидта и вдоль восточного побережья Сахалина [Алексейчик и др., 1963; Рождественский, 2000]. Здесь они отделяют Северо-Сахалинский бассейн от впадины Дерюгина в Охотском море. На основе комплексной интерпретации геологических, петрологических и геофизических данных была построена геодинамическая модель глубинного строения о. Сахалин в том районе, где в 1995 году произошло катастрофическое землетрясение.

### Тектоническое строение

Остров Сахалин находится в западной части литосферной плиты Охотского моря (см. Рис. 1), расположенной между Северо-Американской, Евразийской и Тихоокеанской плитами. Плита Охотского моря ограничена глубинными разломами, в основном сдвигами, а на юго-востоке современной субдукционной зоной – зоной Беньюфа. Фундамент плиты разнородный – от кристаллического палеозойско-мезозойского, изученного на мате-



**Рис. 1.** Тектоническая схема региона Охотского моря [Biebow et al., 2000; Kiratzi and Papazachos, 1996; Maruyama et al., 1997; Rodnikov et al., 2001]. 1 – скорость движения плит по данным GPS; 2 – зоны субдукции; 3 – разломы.

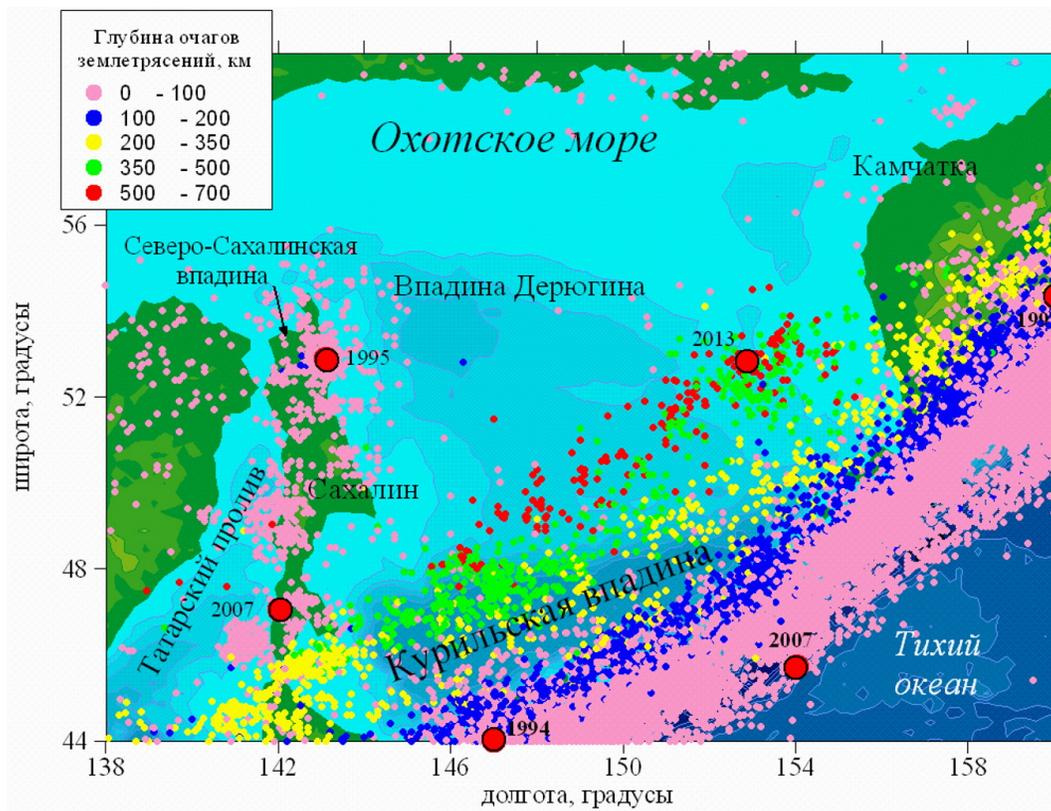
рике, Сахалине и Камчатке, до мезозойского, развитого в акватории Охотского моря [Родников и др., 1996; Сергеев, 2006]. Окончательно плита сформировалась в позднемеловую эпоху, а в кайнозойскую эру была перекрыта чехлом осадочных и вулканогенно-осадочных пород. Мощность коры составляет примерно 25–30 км, увеличиваясь до 35–40 км под Сахалином. Скорости по поверхности Мохоровичича варьируют от 7,8 до 8,3 км/с [Косминская и др., 1987; Piip and Rodnikov, 2004].

Верхняя мантия под Охотским морем характеризуется как горизонтальными, так и значительными вертикальными неоднородностями. Астеносфера, выделенная по геотермическим данным и данным сейсмической томографии [Жао и др., 2010; Родников и др., 1996; Смирнов, 1986; Vijwaard et al., 1998], располагается в верхней мантии в Охотском море на глубине 50–70 км, а под впадиной Дерюгина, где отмечается высокий тепловой поток [Верзбицкий и Кононов, 2006; Смирнов и Сугробов,

1980], достигает подошвы земной коры, обуславливая активный тектонический режим, проявляющийся в вулканической, сейсмической и гидротермальной деятельности. Под Северо-Сахалинской осадочной впадиной, содержащей почти все нефтегазовые месторождения Сахалина, астеносфера расположена на глубине около 70 км [Родников и др., 2002].

## Сейсмичность

Расположение Охотоморской плиты в зоне контакта трех литосферных плит обусловило на ее границах высокую сейсмичность (Рис. 2). Наиболее высокая сейсмическая активность отмечена вдоль Курильской островной дуги. Здесь Тихоокеанская плита погружается под континент, образуя сейсмофокальную зону, которая просле-



**Рис. 2.** Сейсмичность региона Охотского моря (по данным Геофизической службы РАН). На активной континентальной окраине Дальнего Востока регулярно происходит большое количество землетрясений. На нее приходится 80% всех землетрясений Северной Евразии. К наиболее крупным землетрясениям, произошедшим за последние 10 лет, отнесены (большие красные кружки): Шикотанское на южных Курилах в 1994 г. ( $M_s = 8,4$ ), Нефтегорское на Сахалине в 1995 г. ( $M_s = 7,2$ ), Кроноцкое на восточной Камчатке в 1997 г. ( $M_s = 7,9$ ), Невельское в Татарском проливе в 2007 г. ( $M_w = 6,2$ ).

живается до глубины 700 км. На западе Охотоморская плита ограничена глубинными разломами, простирающимися вдоль Сахалина. Здесь землетрясения локализуются, в основном, в коре [Рогожин, 1996; Рогожин и др., 2011; Юнга и Рогожин, 2000]. Сейсмичность Сахалина связана с субмеридиональными глубинными разломами [Родников и др., 1996], разделяющими Охотоморскую литосферную плиту от Евразийской. Движение этих плит друг относительно друга, а также развитие срединных процессов в рифтовой структуре Татарского пролива, приводят к активной сейсмичности.

### Нефтегорское землетрясение 1995 года

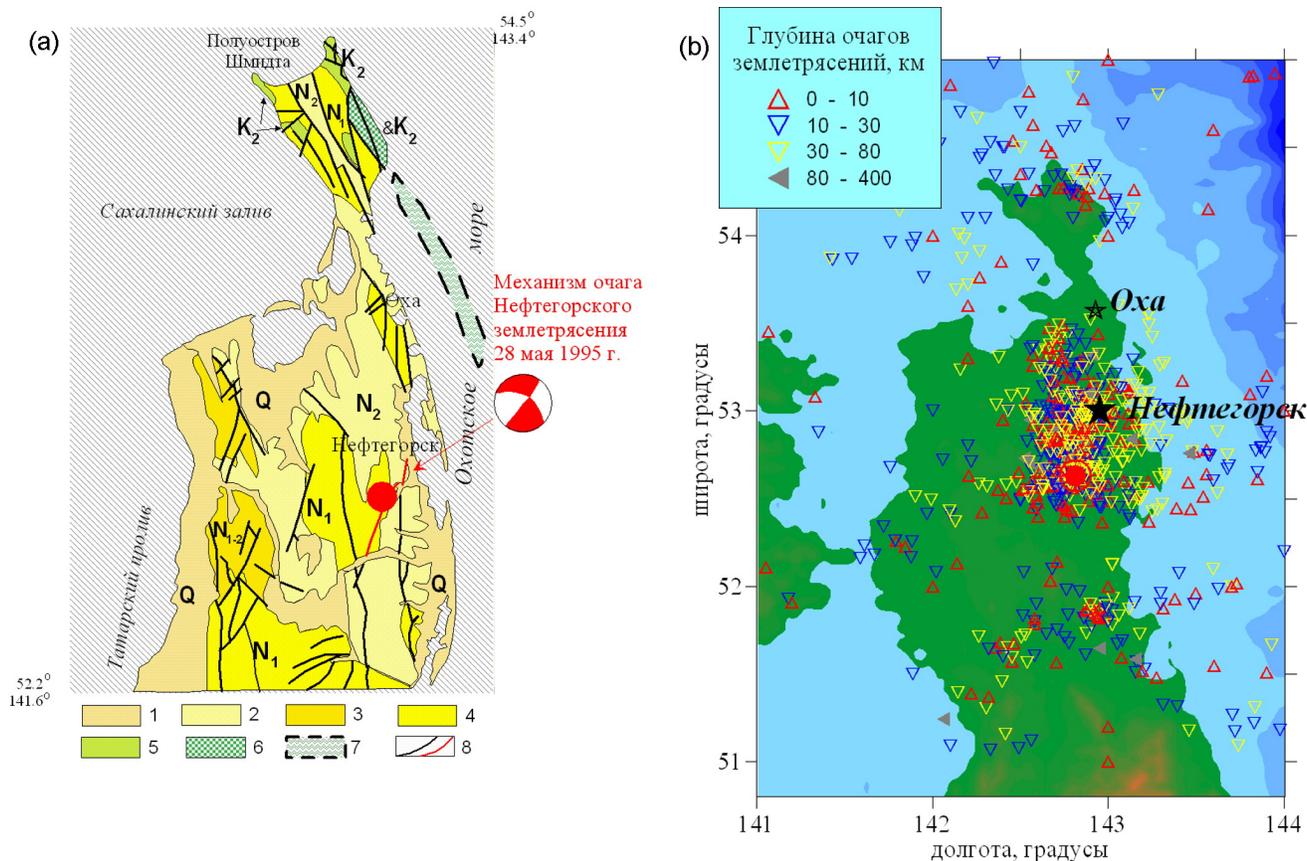
Нефтегорское землетрясение произошло на Северном Сахалине 28 мая 1995 г. (координаты  $52,60^\circ$  с.ш. и  $142,80^\circ$  в.д., Рис. 3). Очаг землетрясения находился на глубине около 18 км, магнитуда  $M_s = 7,2$ . В результате землетрясения образовался сейсморазрыв северо-северо-восточного простирания протяженностью около 40 км.

Разлом представляет собой правосторонний сдвиг, перемещение по которому достигало 8,1 м, а вертикальная

составляющая 1,5–2 м. Пространственно Нефтегорский сейсморазрыв связан с Верхне-Пильтунским разломом, осложняющим на севере Сахалина неогеновые и четвертичные, преимущественно песчано-глинистые, отложения мощностью до 6 и более километров [Рогожин, 1996]. Верхне-Пильтунский разлом составляет северное звено крупного глубинного Центрально-Сахалинского разлома, прослеживающегося вдоль всего острова (Рис. 3а). Многочисленные сейсмогенные подвижки по Верхне-Пильтунскому разлому, как показали исследования [Рогожин, 1996; Семенов и др., 1996], происходили неоднократно в голоцене. Нефтегорское землетрясение 1995 г. – лишь одна из многих сейсмokatastroф, связанных с подвижками по этому разлому.

### Древняя субдукционная зона – граница между впадиной Дерюгина и Северо-Сахалинским осадочным бассейном

Северный Сахалин состоит из Северо-Сахалинского бассейна, западного обрамления впадины Дерюгина и



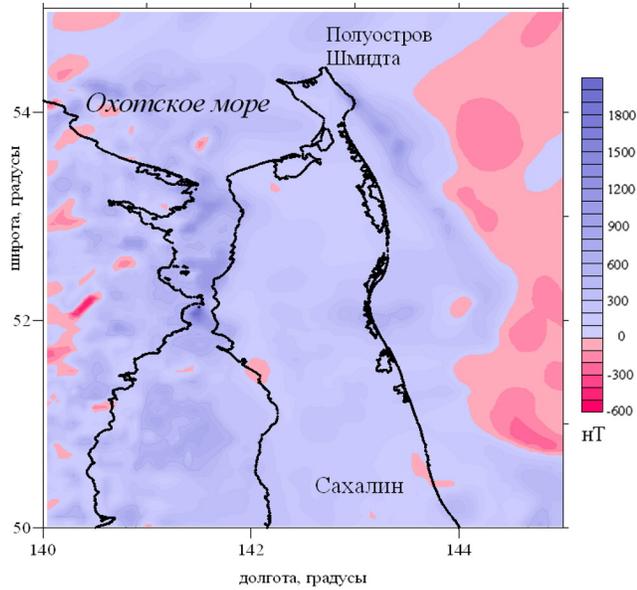
**Рис. 3.** Геологическая карта (а) и сейсмичность (б) Северного Сахалина. 1 – квартал; 2 – плиоцен; 3 – неоген; 4 – миоцен; 5 – верхний мел; 6 – офиолиты на п-ове Шмидта; 7 – офиолиты, простирающиеся вдоль восточного побережья Сахалина; 8 – разломы.

разделяющего их офиолитового комплекса (Рис. 3, Рис. 5). Расположенный на п-ове Шмидта офиолитовый комплекс сложен перидотитами, гарцбургитами и дунитами, метаморфическими породами, включающими глаукофановые сланцы [Рождественский, 1988, 2000]. С гипербазиитами по тектоническому контакту, выраженному зоной серпентинитов, соприкасается толща шаровых лав базальтов, андезито-базальтов, кератофиров и туфов мощностью до 600 м с линзами яшм, кремнистых туфоалевролитов и известняков. Кремнистые породы содержат меловые радиоларии [Алексейчик и др., 1963; Рождественский, 1988, 2000]. Среди вулканических пород выделены бониниты, характерные для фронтальной части островных дуг [Высоцкий и др., 1998]. На толщу шаровых лав надвинута чешуя габбро и габбро-диабазов мощностью до 900 м, прорванных дайками диабазов и плагиогранитов. В зоне разлома, ограничивающего перидотитовый массив с запада, встречаются крупные блоки габбро, диоритов и плагиогранитов, возраст которых (К-Аг метод) 87,1 млн. лет [Рождественский, 2000]. Перидотиты вдоль контакта с габбро сильно серпентинизированы, а габбро превращены в родингиты.

По данным аэромагнитной съемки массив гипербазитов п-ова Шмидта прослеживается в Охотское море в юго-восточном направлении вдоль восточного побережья Сахалина на 1200 км при ширине до 30 км [Корнев, 1990; Красный, 1990] и связан с глубинным разломом, перекрытым в настоящее время кайнозойскими отложениями. В магнитном поле эта зона представляет собой пояс высокоградиентных аномалий, интенсивность которых достигает 1300 нТл (Рис. 4) [Родников и др., 1996].

Предполагается, что офиолитовый комплекс фиксирует положение древней сейсмофокальной зоны – поздне-мезозойской зоны субдукции океанической коры Охотского моря под структуры Сахалина [Гранник, 1991; Родников и др., 2002].

Подтверждением развития в позднем мезозое субдукционной зоны служит выделенная на Восточном Сахалине поздне-меловая-палеогеновая Восточно-Сахалинская вулканическая дуга, состоящая из фрагментов вулканических островов, сложенных андезитами, дацитами, риолитами и их туфами известково-щелочной серии [Гранник, 1999]. Распространение андезитовой цепи вулканов вдоль восточного Сахалина свидетельствует о том, что



**Рис. 4.** Карта аномального магнитного поля Северо-Сахалинского региона [Красный, 1990]. Положительная магнитная аномалия вдоль восточного побережья Сахалина фиксирует положение офиолитового комплекса.

глубина до субдукционной зоны, где располагались в то время магматические очаги, составляла 70–100 км. Толщина реконструированной сейсмофокальной зоны составляет примерно 80 км, а угол наклона – около 45°

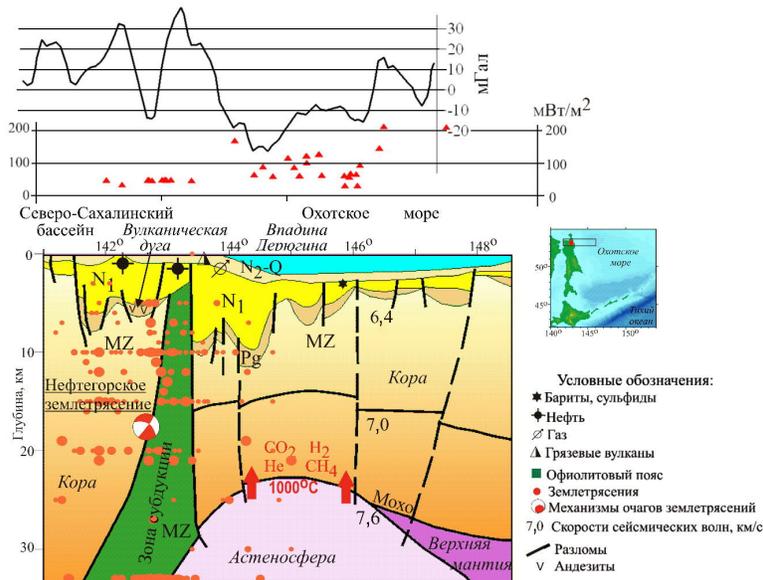
[Гранник, 1999]. За вулканической дугой в позднем мелу на Северном Сахалине располагался задуговой бассейн, сложенный терригенными, кремнистыми и карбонатными породами, а перед дугой располагался глубоководный желоб, фиксирующий субдукцию плиты Охотского моря под Сахалин.

### Геодинамическая модель глубинного строения о. Сахалин

Через древнюю субдукционную зону, палеовулканическую островную дугу, впадину Дерюгина и Северный Сахалин был построен глубинный геолого-геофизический разрез (Рис. 5) [Родников и др., 2005; Rodnikov et al., 2013].

Геологическое строение дано по [Богданов и Хаин, 2000; Родников и др., 1996; Biebow et al., 2000; Rodkin and Rodnikov, 1996; Rodnikov et al., 2001, 2008], строение коры по [Косминская и др., 1987; Piip and Rodnikov, 2004], строение верхней мантии по [Родников и др., 1996, 2002, 2009; Rodnikov et al., 2009] значения теплового потока по [Верзбицкий и Кононов, 2006; Смирнов, 1986; Смирнов и Сугробов, 1980; Pollak et al., 1991], сейсмичность по ежегоднику “Землетрясения Северной Евразии, 1992–2007”, (ред. О. Е. Старовойт), а также по [Юнга и Рогожин, 2000].

Анализ построенной геодинамической модели и всех имеющихся геолого-геофизических данных позволяет сделать следующее описание исследуемого региона.



**Рис. 5.** Геодинамическая модель глубинного строения региона Нефтегорского землетрясения. Справа: карта-схема расположения профиля. Вверху: распределение гравитационного поля (аномалии в свободном воздухе, мГал) [Родников и др., 1996], ниже распределение измеренных значений теплового потока (мВт/м<sup>2</sup>) вдоль профиля [Pollak et al., 1991]. Очаг Нефтегорского землетрясения связан с подвижками, происходящими в древней субдукционной зоне. Геологический возраст: MZ – мезозой, Pg – палеоген, N – неоген, Q – четвертичные отложения.

Впадина Дерюгина образовалась на месте древнего глубоководного желоба после того, как в позднемиоценово-палеогеновое время плита Охотского моря субдуцировала под вулканическую дугу [Гранник, 1999; Родников и др., 2002]. Она выполнена кайнозойскими, преимущественно глубоководными, морскими терригенными и кремнисто-терригенными отложениями толщиной до 12 км. В неогене, в результате раскрытия рифтовой структуры Татарского пролива, субдукция прекратилась, а желоб превратился в осадочный бассейн [Родников и др., 1996; Rodnikov et al., 2001]. Олигоцен-нижнемиоценовый комплекс составляет нижнюю часть осадочной толщи. Он слагает отдельные изолированные рифтовые грабены, сформировавшиеся в условиях глубоководного желоба. Мощность этих отложений составляет 3–5 км. Верхняя основная часть разреза сложена миоцен-четвертичными осадками, выполняющими крупные прогибы, отделенные от поднятий листрическими сбросами. Верхи разреза сложены диатомовыми пелитами с прослоями пирокластических пород.

Слоистая толща впадины Дерюгина повсеместно смята в складки и разбита разломами, осложняющими борта впадины [Biebow et al., 2000]. Разломы отражают современную тектоническую обстановку региона, обусловленную, по-видимому, глубинными процессами. Активная современная тектоника подчеркивается высокими значениями теплового потока, достигающими  $200 \text{ мВт/м}^2$  [Смирнов, 1986], гидротермальной деятельностью [Обжиров и др., 1999] и сейсмическими проявлениями, приуроченными в основном к западному борту впадины Дерюгина [Рогожин, 1996], где выходит на поверхность древняя сейсмофокальная зона.

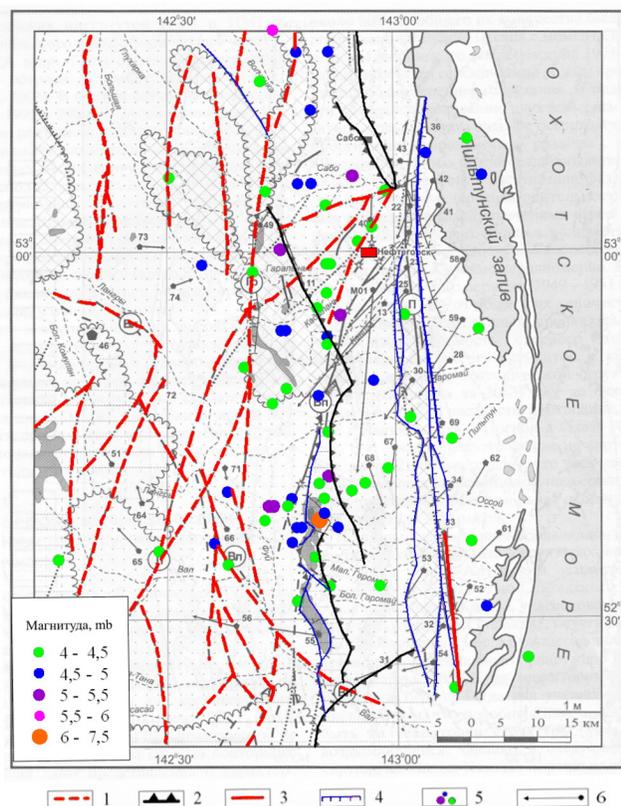
Мощный осадочный чехол впадины залегает на неровной поверхности акустического фундамента со скоростями сейсмических волн 6,2–6,4 км/с. Скорости по поверхности Мохо пониженные до 7,6 км/с [Pir and Rodnikov, 2004]. Толщина фундамента незначительная – не больше 10 км, обусловленная процессами растяжения и последующего прогибания. Тектоническая активность, проявившаяся в регионе Охотского моря, в частности во впадине Дерюгина, обусловлена процессами, протекающими в верхней мантии. Здесь, на небольшой глубине (25–30 км), после завершения процессов субдукции, возник астеносферный диапир, содержащий магматические очаги с высокими температурами, достигающими  $1000^\circ\text{C}$  [Родников и др., 2002].

Над древней субдукционной зоной располагается Северо-Сахалинский осадочный бассейн, сформировавшийся на месте позднемиоценовой задуговой впадины. Его протяженность в северо-западном направлении составляет 900 км при ширине в 80–120 км. Фундамент сложен триасо-раннемиоценовыми вулканогенно-кремнистыми и, в отдельных случаях, позднемиоценовыми вулканогенными отложениями. Он расположен на глубине до 5–12 км, а на обрамляющих и внутренних поднятиях до 1,5–3 км [Родников и др., 1996]. Образование задугового бассейна связывается с апвеллингом астеносферного диапира к коре, расчленением коры в конце позднего мела на систему узких горстов и грабенов и накоплением фаций началь-

го рифтогенеза (Рис. 5) [Родников и др., 2005; Rodnikov et al., 2001]. Породы бассейна представлены переслаиванием терригенных, кремнисто-терригенных и карбонатно-вулканогенно-кремнистых пород [Родников и др., 1996]. Магматические породы, связанные с развитием задугового бассейна, относятся к известково-щелочным и щелочным сериям. Они представлены габбро, гранодиоритами и толеитами, сходными с океаническими оливиновыми базальтами, андезитами, сменяющимися вверх по разрезу дацитами и риолитами. Возраст осадочных пород устанавливается по фауне иноцерамов и аммонитов, а также по радиоляриям, как верхнемиоценовой [Гранник, 1999]. В олигоценовую эпоху продолжалось заполнение грабенов терригенными, а затем кремнисто-глинистыми отложениями мощностью до 3,5 км. Следующему миоценовому этапу максимального расширения в Северо-Сахалинском бассейне соответствует мощный (до 10 км в отдельных грабенах) комплекс пород – сначала глубоководные, а потом все более мелководные песчано-глинистые отложения. Для плиоценового этапа развития бассейна, как и предыдущих, характерно накопление песчано-глинистых осадков. В результате плиоцен-четвертичной тектонической активизации сформировались слабо интенсивные пологие пликативные структуры. Тепловой поток в этом бассейне характеризуется средними значениями, а астеносфера, по данным электромагнитных исследований, расположена в настоящее время на глубине около 70 км [Родников и др., 1996].

В результате подвижек, происходящих по древней субдукционной зоне, расположенной под Сахалином, в земной коре происходят значительные перемещения по многочисленным разломам и деформация земной поверхности. Образовалась система разломов в коре, включающая линеаменты, глубинные разломы, сбросы, взбросы, сдвиги и флексуры (Рис. 6). Вдоль разломов образовались приразломные впадины и блоки. Кора региона находится в постоянном движении. Отмечаются как горизонтальные, так и вертикальные перемещения [Воейкова и др., 2007]. Повторные GPS-измерения в эпицентральной зоне Нефтегорского землетрясения выполнялись в 1995–1997 гг. В результате землетрясения в эпицентральной зоне произошли значительные правосторонние смещения земной поверхности. В окрестностях Нефтегорска величина правостороннего сдвига составила 4 м, а амплитуда взброса составила 75 см [Василенко и др., 2001; Воейкова и др., 2007].

Формирование и дальнейшее развитие осадочных бассейнов, таких как впадина Дерюгина, образовавшаяся на месте глубоководного желоба, или Северо-Сахалинский осадочный бассейн, наследовавший структуры задуговой впадины, обусловлено субдукционными процессами, протекавшими в позднемиоценово-раннепалеогеновую эпоху, и активизированными в последующее время, о чем свидетельствуют непрекращающиеся сейсмические подвижки в регионе [Rodnikov, 2007; Rodnikov et al., 2013]. Расположение древней субдукционной зоны под Сахалином, являющейся причиной сильных землетрясений, делает этот регион одним из сейсмоопасных на территории России.



**Рис. 6.** Схема горизонтальных деформаций земной поверхности региона Нефтегорского землетрясения за период 1970–1997 гг. [Василенко и др., 2001; Воейкова и др., 2007], дополненная эпицентрами землетрясений. 1 – линеаменты, 2 – флексуры, 3 – глубинные разломы, 4 – разломы, 5 – очаги землетрясений, 6 – смещение пункта геодезической сети.

## Выводы

Построенная модель глубинного строения литосферы региона Нефтегорского землетрясения охватывает Северо-Сахалинскую осадочную впадину, западное обрамление впадины Дерюгина и разделяющий их офиолитовый комплекс.

Впадина Дерюгина образовалась на месте древнего глубоководного желоба после того, как в позднемеловое-палеогеновое время плита Охотского моря субдуцировала под вулканическую дугу, расположенную вдоль Сахалина, а Северо-Сахалинский бассейн сформировался в то время на месте задуговой впадины.

Офиолитовый комплекс, сложенный ультраосновными породами, фиксирует положение древней субдукционной зоны, действовавшей примерно 100–60 млн. лет назад. На поверхности субдукционная зона проявляется в виде глубинных разломов, простирающихся вдоль Сахалина. Очаг Нефтегорского землетрясения образовался непосредственно в связи с активизацией этой древней субдукционной зоны.

Расположение под Сахалином древней субдукционной зоны, являющейся причиной сильных землетрясений, делает этот регион одним из сейсмоопасных на территории России.

**Благодарности.** Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ). Грант № 12-05-00029-а.

## Литература

- Алексейчик, С. Н., С. Д. Гальцев-Безюк, В. С. Ковальчук, П. М. Сычев (1963), *Тектоника, история геологического развития и перспективы нефтегазоносности Сахалина*, Гостоптехиздат, Ленинград.
- Богданов, Н. А., В. Е. Хаин (ред.) (2000), *Тектоническая карта Охотоморского региона, Масштаб 1 : 250000*, Институт литосферы РАН, Москва.
- Василенко, Н. Ф., А. И. Иващенко, Ким Чун Ун (2001), Деформации земной поверхности в эпицентральной зоне Нефтегорского землетрясения 27(28) мая 1995 г., *Динамика очаговых зон и прогнозирование сильных землетрясений северо-запада Тихого океана*, Южно-Сахалинск, 39–57.
- Вержицкий, Е. В., М. В. Кононов (2006), Геодинамическая эволюция литосферы Охотоморского региона по геофизическим данным, *Физика Земли*, 6, 47–59.
- Воейкова, О. А., С. А. Несмеянов, Л. И. Серебрякова (2007), *Неотектоника и активные разрывы Сахалина*, Наука, Москва.
- Высоцкий, С. В., Г. И. Говоров, И. В. Кемлин, В. И. Сапин (1998), Бонинит-офиолитовая ассоциация Восточного Сахалина: геология и некоторые особенности петрогенеза, *Тихоокеанская геология*, 17, 6, 3–15.
- Гранник, В. М. (1991), Петрохимическая характеристика магматических пород Восточно-Сахалинской позднемезозойской островодужной системы, *Тихоокеанская геология*, 6, 67–86.
- Гранник, В. М. (1999), Реконструкция сейсмофокальной зоны Восточно-Сахалинской вулканической палеодуги по распределению редкоземельных элементов, *ДАН*, 366, 1, 79–83.
- Жао, Д., Ф. Пираино, Л. Лиу (2010), Структура и динамика мантии под Восточной Россией и прилегающими регионами, *Геология и геофизика*, 51, 9, 1188–1204.
- Корнев, О. С. (1990), Геомангнитные формации фундамента Охотоморской плиты, *Тихоокеанская геология*, 2, 33–39.
- Косминская, И. П., А. Г. Родников, Г. И. Семенова (ред.) (1987), *Глубинное сейсмическое зондирование. Данные по Тихому океану*, Советский геофизический комитет АН СССР, Москва.
- Красный, М. Л. (1990), *Геофизические поля и глубинное строение Охотско-Курильского региона*, ДВО АН СССР, Владивосток, 162.
- Обжиров, А. И., Н. В. Астахова, М. И. Липкина, О. Ф. Верещагина, Г. И. Мишукова, А. В. Сорочинская, И. Г. Югай (1999), *Газо-геохимическое районирование и минеральные ассоциации дна Охотского моря*, Дальнаука, Владивосток.
- Рогожин, Е. А. (1996), Тектоника очаговой зоны Нефтегорского землетрясения 27(28) мая 1995 г. на Сахалине, *Геотектоника*, 2, 45–53.
- Рогожин, Е. А., Л. И. Иогансон, А. Д. Завьялов, В. С. Захаров, А. И. Лутиков, Л. Б. Славина, Г. И. Рейснер, А. Н. Овсоченко, С. Л. Юнга, С. С. Новиков (2011), *Потенциальные сейсмические очаги и сейсмологические предвестники землетрясений – основа реального сейсмического прогноза*, “Светоч Плюс”, Москва, 368.
- Родников, А. Г., И. К. Туезов, В. В. Харахинов (отв. ред.) (1996), *Структура и динамика литосферы и астеносферы Охотоморского региона*, Геофизический комитет, Москва.

- Родников, А. Г., Н. А. Сергеева, Л. П. Забаринская (2002), Глубинное строение впадины Дерюгина (Охотское море), *Тихоокеанская геология*, 4, 3–8.
- Родников, А. Г., Л. П. Забаринская, В. Б. Пийп, В. А. Рашидов, Н. А. Сергеева, Н. И. Филатова (2005), Геотраверс региона Охотского моря, *Вестник КРАУНЦ, серия "Науки о Земле"*, 5, 45–58.
- Родников, А. Г., Н. А. Сергеева, Л. П. Забаринская (2009), Геодинамическая модель глубинного строения литосферы региона Невтегорского землетрясения (о. Сахалин), *Геологические опасности, ред. Ф. Н. Юдахин*, Институт экологических проблем Севера, Архангельск, 379–382.
- Рождественский, В. С. (1988), Геологическое строение и тектоническое развитие полуострова Шмидта (о. Сахалин), *Тихоокеанская геология*, 3, 62–71.
- Рождественский, В. С. (2000), *Микроплита Сахалин–Хоккайдо, Объяснительная записка к Тектонической карте Охотоморского региона, масштаб 1 : 2500000*, ред. Н. А. Богданов, В. Е. Халин, ИЛОВМ РАН, Москва, 60–71.
- Семенов, Р. М., В. А. Павленов, В. В. Харахинов (1996), Катастрофическое землетрясение на севере Сахалина (краткая сейсмологическая характеристика), *ДАН*, 351, 4, 535–538.
- Сергеев, К. Ф. (ред.) (2006), *Тектоническое районирование и углеводородный потенциал Охотского моря*, Наука, Москва.
- Смирнов, Я. Б. (1986), *Геотермическая карта Северной Евразии и методы анализа термической структуры литосферы*, Геологический институт, Москва.
- Смирнов, Я. Б., В. М. Сугробов (1980), Земной тепловой поток в Курило-Камчатской и Алеутской провинциях, *Вулканология и сейсмология*, 2, 3–17.
- Юнга, С. Л., Е. А. Рогожин (2000), *Сейсмичность, механизмы очагов землетрясений и сеймотектонические деформации в пределах активных блоков литосферы. Новейшая тектоника, геодинамика и сейсмичность Северной Евразии*, ред. А. Ф. Грачев, Пробел, Москва, 412–417.
- Biebow, N., T. Ludmann, V. Karp, R. Kulinich (eds.) (2000), *Cruise Reports: Komex V and VI. Kuril Okhotsk Sea Marine Experiment*, Kiel, Germany.
- Bijwaard, H., W. Spakman, E. R. Engdahl (1998), Closing the gap between regional and global travel time tomography, *J. Geophys. Res.*, 103, B12, 30,055–30,078, doi:10.1029/98JB02467.
- Kiratzí, A., C. Papazachos (1996), Moment-tensor summation to derive the active crustal deformation in Japan, *BSSA*, 86, 3, 821–831.
- Maruyama, S., Y. Isozaki, J. Kimura, M. Terabayashi (1997), Paleographic maps of the Japanese Islands: Plate Tectonic Synthesis from 750 Ma to the present, *The Island Arc*, 6, 1, 91–120, doi:10.1111/j.1440-1738.1997.tb00042.x.
- Piip, V. B., A. G. Rodnikov (2004), The Sea of Okhotsk crust from deep seismic sounding data, *Russ. J. Earth Sci.*, 6, 1, 1–14, doi:10.2205/2003ES000140.
- Pollack, H. N., S. J. Hurter, J. R. Johnson (1991), *The new global heat flow compilation*, Department of Geological Sciences University of Michigan, USA.
- Rodkin, M. V., A. G. Rodnikov (1996), Origin and structure of back-arc basin: new data and model discussion, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 93, 1–2, 123–131.
- Rodnikov, A. G. (2007), *Ancient subduction zone in the Sakhalin Island (the Sea of Okhotsk)*, IUGG, Perugia, Italy.
- Rodnikov, A. G., N. A. Sergeyeva, L. P. Zabarinskaya (2001), Deep structure of the Eurasia-Pacific transition zone, *Russ. J. Earth Sci.*, 3, 4, 293–310, doi:10.2205/2001ES000061.
- Rodnikov, A. G., N. A. Sergeyeva, L. P. Zabarinskaya, N. I. Filatova, V. B. Piip, V. A. Rashidov (2008), The deep structure of active continental margins of the Far East (Russia), *Russ. J. Earth Sci.*, 10, 4, ES4002, doi:10.2205/2007ES000224.
- Rodnikov, A. G., N. A. Sergeyeva, L. P. Zabarinskaya (2009), Informational Interdisciplinary database for the construction of the geodynamic models of the active continental margins of the Earth, *Proceedings of EUREGEO, vol. 1*, Munich, Bavaria, Germany, 260–262.
- Rodnikov, A. G., N. A. Sergeyeva, L. P. Zabarinskaya (2013), Ancient subduction zone in the Sakhalin Island, *Tectonophysics*, 600, 217–225, doi:10.1016/j.tecto.2012.12.014.

Л. П. Забаринская, А. Г. Родников, Н. А. Сергеева, Геофизический центр Российской академии наук, ул. Молодежная 3, 119296, Москва, Россия. (a.rodnikov@gcras.ru)