

ГЛУБИННОЕ СТРОЕНИЕ ЮЖНО-САХАЛИНСКОГО ГРЯЗЕВОГО ВУЛКАНА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ КОМПЛЕКСНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В.В. Жигулев, М.Г. Гуринов, В.В. Ершов

Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск

Поступила в редакцию 2 мая 2007 г.

Представлены результаты комплексных сейсмических исследований, выполненных методами преломленных и отраженных волн (с использованием продольных и поперечных колебаний) на Южно-Сахалинском грязевом вулкане. Вблизи действующего вулкана подтверждено существование потухшего (около 60–70 лет назад) крупного вулканического образования. Определена его структура, установлена взаимосвязь обнаруженных промежуточных флюидосодержащих камер с выделенными тектоническими нарушениями. Выдвинуто предположение о поэтапном развитии вулканизма в северо-восточном направлении и его вероятной связи с современной тектоникой Центрально-Сахалинского разлома.

Ключевые слова: сейсморазведка, отраженные и преломленные волны, продольные и поперечные волны, грязевой вулкан, грифоны, тектонические нарушения, о. Сахалин.

ВВЕДЕНИЕ

Изучение грязевого вулканизма представляет как научный так и практический интерес: его природа, вероятная приуроченность к зонам тектонических нарушений, признаки высокой перспективности окружающей территории на высокое содержание углеводородов, возможность использования продуктов деятельности вулкана в различных народно-хозяйственных целях.

В настоящей статье приводятся результаты комплексных сейсмических исследований, выполненных в 2006 г. на Южно-Сахалинском грязевом вулкане, который является самым крупным и наиболее изученным из четырех, имеющих на о. Сахалин.

Интерес к изучению именно этого вулкана, в первую очередь, вызван его местоположением – близостью к крупному населенному пункту (20 км к северо-западу от г. Южно-Сахалинска) и приуроченностью к зоне пересечения крупного субмеридионального Центрально-Сахалинского сбросо-надвига и пересекающего его субширотного нарушения [3]. Геологические исследования, проводящиеся здесь не одно десятилетие, позволили собрать внушительный объем материала, касающегося, в основном, площадных размеров грязевого поля, рельефа поверхности, состава извергаемых продуктов и периодичности интенсивных изверже-

ний [4, 5, 7–10]. Однако без наличия хотя бы приблизительной информации о внутреннем строении грязевого вулкана вряд ли возможно установить геологические процессы, определяющие его эпизодическую активизацию. Поэтому, начиная с 1998 г., лабораторией сейсмических методов исследований Института морской геологии и геофизики (ИМ-ГиГ) на Южно-Сахалинском грязевом вулкане проводятся регулярные исследования с использованием различных методов и способов сейсморазведки [1, 2, 5]. На начальном этапе работ, проведенных в 1998–1999 гг. методом преломленных волн (МПВ), впервые получены данные о внутреннем структурно-скоростном строении аккумулятивно-грязевого конуса на глубину до 20 метров, намечены участки возможной локализации газо-грязевых камер и установлена их взаимосвязь с грифоновыми построениями. Однако существенным недостатком этих исследований является то, что они были выполнены с использованием только продольных (Р) волн, скоростные характеристики которых, как известно, являются весьма критичными к степени водонасыщения пород. Под воздействием восходящих флюидов в процессе грязевого вулканизма происходит изменение физических характеристик пород, что снижает достоверность геологической интерпретации сейсмических данных, получаемых с помощью Р-волн.

Поэтому в 2006 г. исследования выполнялись с использованием как продольных, так и поперечных (S) волн. Продольные волны использовались только при наблюдениях методом отраженных волн (МОВ), в варианте общей глубинной точки (МОВ-ОГТ) – с целью повышения глубинности исследований. Поперечные волны использовались при наблюдениях методом преломленных волн, ориентированном на детальное изучение верхней части разреза.

МЕТОДИКА НАБЛЮДЕНИЙ

Сейсмические работы выполнены на двух пересекающихся профилях (рис. 1) протяженностью 660 (ПР 1) и 594 (ПР 2) метров. Профиль 1 обрабатывался только МПВ с использованием S-волн, а профиль 2 – методами МОВ-ОГТ с использованием Р-волн и МПВ с использованием S-волн.

Наблюдения МПВ проводились по стандартной методике с применением встречных и нагоняющих годографов. Расстояние между пунктами приема составляло 2 м, между пунктами возбуждения – 22 м, база приема (длина годографа) – 88 м. Для уменьшения влияния продольных волн при наблюдениях с поперечными волнами использовались только их SH-составляющие, то есть поляризованные перпендикулярно плоскости, образованной направлениями профиля и падения луча. Их генерация осуществлялась способом бокового удара в разные стороны от направления профиля. Регистрация велась в частотном диапазоне 8–150 Гц с использованием режима накопления от четырех до двадцати воздействий в пункте возбуждения. Для окончательного подавления продольных волн-помех применялся режим суммирования сейсмозаписей, зарегистрированных при воздействии в противоположных направлениях. В результате этих операций продольные волны суммируются в противофазе и взаимно уничтожаются, а поперечные, приобретая одинаковую полярность (от воздействий в различных направлениях), суммируются с увеличением амплитуды.

При наблюдениях МОВ-ОГТ в качестве источника продольных сейсмических сигналов использовалась установка падающего груза, обеспечивающая энергию возбуждаемой волны порядка 1500 Дж. Работы проводились на расстоянии между пунктами приема и возбуждения 2 м с применением фланговой системы наблюдений, которая при 24-канальной регистрации позволяет обеспечить 12-кратное суммирование сейсмотрасс по общей глубинной точке. Обработка данных МПВ выполнялась с использованием пакетов специализированных программ серии

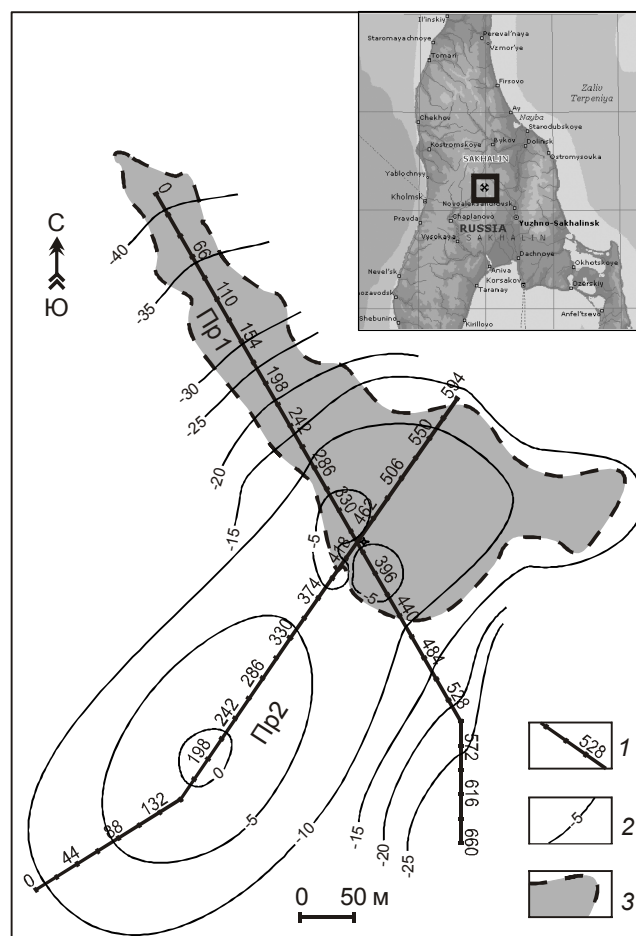


Рис. 1. Схема района работ.

1 – сейсмические профили и номера пикетов пунктов возбуждения, 2 – изохимические контуры рельефа, 3 – область современного грязевого поля. На врезке – местоположение Южно-Сахалинского грязевого вулкана.

“SEIS” и “GEOTOMO”, а материалов МОВ-ОГТ – по программе “GEOMAR”.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Результаты исследований представлены в виде временных и структурно-скоростных разрезов (рис. 2, 3). Общее представление о современной структуре вулкана дает разрез МПВ, построенный по профилю 1. Здесь четко выделяется аккумулятивно-грязевой комплекс, сложенный различными по мощности и скоростным характеристикам слоями. По всей вероятности, верхняя, наиболее низкоскоростная толща (V_s – 40–60 м/с), покрывающая вершину вулкана (ПК 340–450), большую часть северо-западного склона (ПК 150–300; ПК 20–100) и нижнюю часть юго-восточного (ПК 570–660), частично сформирована в результате последнего интенсивного извержения. Скоростные



Рис. 2. Сейсмический разрез МПВ по профилю 1.

1 – сейсмические границы и скорости в слоях, 2 – пункты пересечения профилей.

характеристики двух нижележащих слоев (V_s – 85–90 и 120–170 м/с) дают основание считать их также продуктами вулканической деятельности, но сформировавшимися, вероятно, на различных этапах ее активизации. Вулканическая постройка, общая мощность осадочных отложений которой достигает 35 метров, подстилается условным фундаментом, скорость в котором резко изменяется от 230 до 255 м/с под куполом и северо-западным склоном вулкана и до 610 м/с – у его юго-восточного подножия (ПК 570-600). По всей видимости, данная скоростная дифференциация обусловлена различной литологией фундамента, который, согласно [6], в юго-восточной части профиля образован песчаными алевролитами и аргиллитами эоцено-олигоценного возраста, а в центральной и северо-западной частях – позднемеловой алевролито-аргиллитовой формацией, слагающей приподнятое крыло Центрально-Сахалинского взбросо-надвига.

Наиболее информативные данные, отражающие одновременно глубинное строение вулкана и его приповерхностную структуру, получены на профиле 2 (рис. 3). Область последнего грязевого излияния отчетливо выделяется пониженными скоростными значениями: V_s – 50–55 м/с верхнего слоя в северо-восточной части профиля (ПК 380-594). На более возвышенном участке (куда излияния не проникали) скорость верхней толщи, по мере удаления от действующих грифонов, постепенно увеличивается от 75 до 90 м/с. Граница поверхности условного фундамента, определяемая скоростями 250–290 м/с, прослеживается в интервале глубин от 10 (у подножия

вулкана) до 35 метров (под его куполом). Непосредственно под грязевым полем последнего извержения (ПК 380-594), оконтуривающего действующие грифоны, в интервале глубины 5–40 метров регистрируется область понижения скорости V_s до 60–75 м/с. Приуроченность к действующим грифонам и пониженные скорости указывают на то, что эта область может являться зоной локализации флюидосодержащих образований. В первом приближении, ее можно представить как промежуточную камеру, образовавшуюся в процессе вулканической деятельности на пути подводящих газогрязевых каналов.

Особый интерес вызывает присутствие в разрезе еще одной низкоскоростной зоны, обнаруженной непосредственно под куполообразным поднятием на участке максимального возвышения рельефа поверхности (ПК 110-254). Предполагается [6], что данное поднятие образовано продуктами вулканических извержений, прекратившихся примерно 60–70 лет назад. В этом случае наличие низкоскоростной зоны также объясняется процессами грязевого вулканизма, а ее уменьшенные размеры (в сравнении с обнаруженной на участке действующего вулкана) и несколько повышенные скорости (V_s – 85–100 м/с) косвенно подтверждают прекращение процессов активного вулканизма на этом участке.

Полученные данные дают основание предположить наличию в исследуемом районе механизма последовательного развития грязевого вулканизма (миграции действующих вулканов) в северо-восточном направлении. Примечательно, что это направление

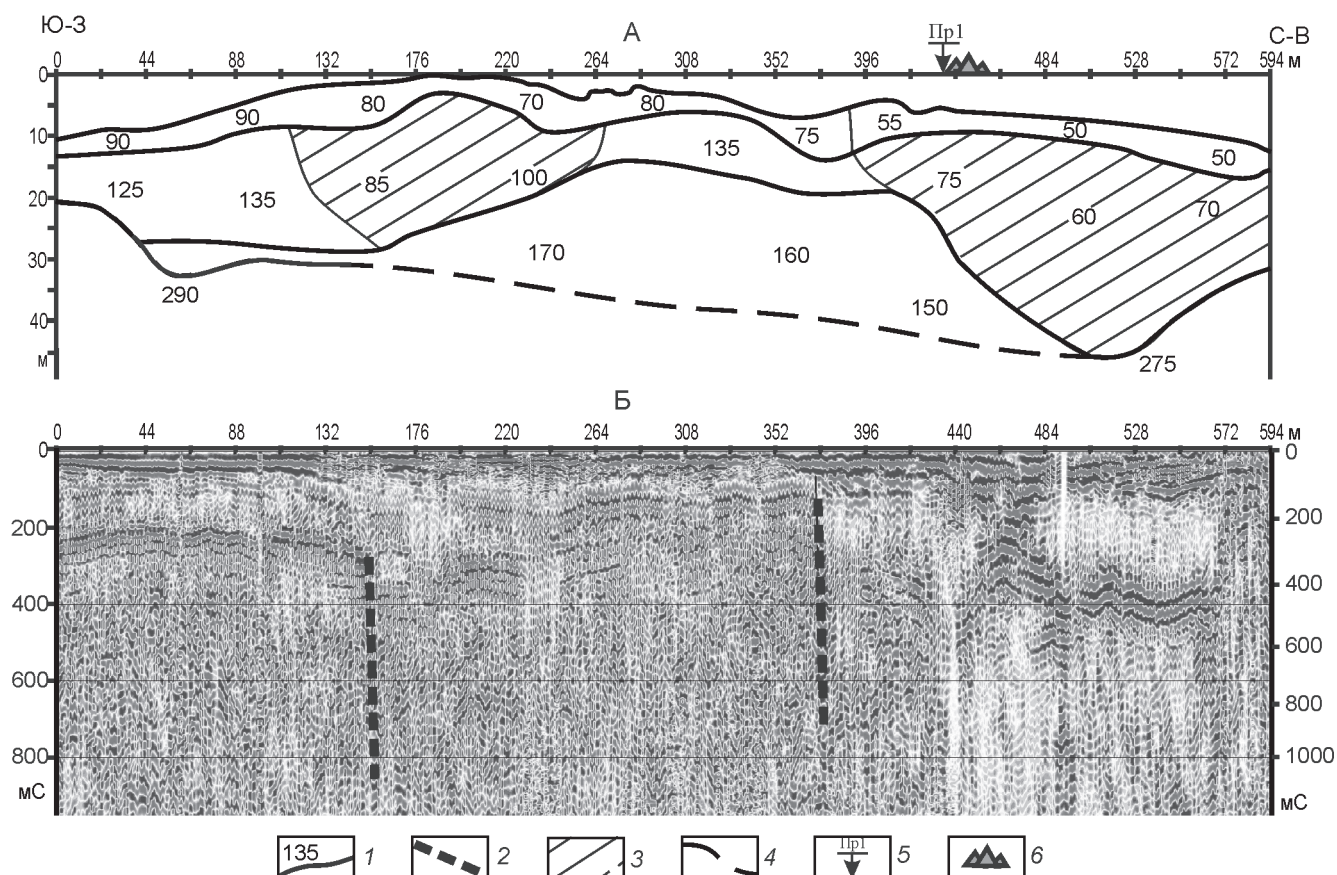


Рис. 3. Сейсмические разрезы по профилю 2. А – МПВ; Б – МОВ-ОГТ.

1 – сейсмические границы и скорости в слоях, 2 – тектонические нарушения, 3 – зоны пониженных скоростей, 4 – интерполяция, 5 – пункты пересечения профилей, 6 – грифоновые постройки.

совпадает с ориентацией Центрального Сахалинского разлома, что, очевидно, представляет определенный интерес в плане получения дополнительной информации о его современной активности и потенциальной сейсмоопасности.

Глубинное строение вулкана наглядно иллюстрируется сейсмическим разрезом МОВ-ОГТ (рис. 3Б). Слева от разреза нанесена временная шкала (время двойного пробега луча), а справа – глубинная шкала, для построения которой использовались скоростные значения продольных волн, полученные при ранее проведенных исследованиях [1, 2]. Полученный временной разрез имеет достаточно сложное строение, но он вполне пригоден для проведения общей геологической интерпретации. Длительность регистрации составляла 2500 мС, но ее информативной частью, по-видимому, следует считать только интервал от 0 до 600 мС, в котором уверенно прослеживаются достаточно регулярные коррелируемые отражения.

В целом волновая картина отражает осадочный разрез слоистых образований общей мощностью от

100 до 450 метров. Граница поверхности фундамента, ниже которой не регистрируются коррелируемые сигналы, характеризуется отражающим горизонтом низкочастотных многофазовых отражений с устойчивой корреляцией. В юго-западной части профиля (ПК 0-150) она отчетливо выделяется в интервале глубин 200–250 метров. Непосредственно под куполом потухшего вулкана (ПК 176-200) этот горизонт претерпевает вертикальное смещение с амплитудой до 100 метров (интерпретируемое как тектоническое нарушение) с резким одновременным ослаблением энергии отражений. По мере приближения к центральной части профиля, отмечается его постепенное поднятие, приблизительно до 100-метровой отметки глубины. После чего, оставаясь примерно на одном уровне, граница поверхности фундамента уверенно прослеживается до подножия действующего вулкана (ПК 352), где теряется в волновом поле второго (выделенного по кинематическим характеристикам) тектонического нарушения, имеющего амплитуду вертикального смещения порядка 200 метров.

Непосредственно под действующим вулканом (ПК 360–594) в интервале регистраций 100–200 мС на волновой картине отмечается участок резкого ослабления записи, который может интерпретироваться как область локализации флюидосодержащих образований, сформировавшихся, по всей видимости, в результате действия грязевулканических процессов.

Особое внимание заслуживает сонахождение выделенных разломов с вулканическими образованиями (потухшими и действующими вулканами), что дает основание причислять их к подводным каналам, по которым газо-грязевая масса поступает к жерлу вулкана. Как следует из приведенного материала, две главные вулканические постройки в районе исследований расположены на участках пересечения одной из плоскостей главного тектонического образования (Центрально-Сахалинского разлома) с пересекающими его второстепенными дизъюнктивами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Опыт проведенных исследований показал достаточно высокую эффективность применения комплекса сейсмических методов отраженных и преломленных волн с использованием продольных и поперечных колебаний для изучения таких сложных геологических образований, как грязевые вулканы. Преимущество данной методики в том, что она позволяет одновременно исследовать как общую глубинную структуру вулкана, так и детальное строение его верхней части. В результате выполненных исследований получены данные о структурно-скоростном строении аккумулятивного грязевого конуса, сложенного отличающимися по скоростным характеристикам осадочными слоями, сформированными в различные периоды вулканической активности, внутри которых размещаются зоны локализации флюидосодержащих элементов (промежуточные газогрязеводонакопляющие камеры). Установлена взаимосвязь вулканических образований с выделенными тектоническими нарушениями, которые, очевидно, являются теми подводными каналами, по которым продукты извержения поступают к жерлу вулканов и заполняют промежуточные камеры. Подтверждено существование потухшей в настоящее время вулканической постройки и выдвинуто предположение о постепенном развитии вулканических процессов (миграции вулкана) в северо-восточном направлении, их

возможной связи с тектоникой Центрально-Сахалинского разлома. Показано, что грязевые вулканы образуются на участках пересечения дизъюнктивных образований.

Авторы выражают искреннюю благодарность Т.К. Злобину и О.А. Мельникову за организацию и помощь в проведении экспериментальных сейсмических наблюдений на Южно-Сахалинском грязевом вулкане.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аргентов В.В., Жигулев В.В., Патрикеев В.Н. Строение Южно-Сахалинского грязевого вулкана по сейсмическим данным // Строение земной коры и перспективы нефтегазоносности в регионах Северо-Западной окраины Тихого океана. Т. 2. Южно-Сахалинск, 2000. С. 104–113.
2. Аргентов В.В., Жигулев В.В., Мельников О.А., Патрикеев В.Н. Опыт применения малоглубинной сейсмики для выяснения строения Южно-Сахалинского газоводогрязевого вулкана // Тихоокеан. геология. 2001. Т. 20, № 5. С. 3–11.
3. Гурьева З.И., Шарков В.В. Изучение грязевых вулканов о. Сахалин по материалам аэрофотосъемки // Тихоокеан. геология. 1987. № 4. С. 58–65.
4. Занюков В.В., Мельников О.А., Федорченко В.И. Извержение Южно-Сахалинского грязевого вулкана // Геология и геофизика. 1982. № 2. С. 127–130.
5. Жигулев В.В., Злобин Т.К., Ершов В.В., Гуринов М.Г. Сейсмические исследования МОВ ОГТ и МПВ на Южно-Сахалинском грязевом вулкане // Сборник трудов на Восьмых Геофизических чтениях им. В.В. Федынского. 2–4 марта 2006 г. М.: Науч. мир, 2006. С. 17–18.
6. Мельников О.А., Сабиров Р.Н. Новые данные о современном состоянии и былой активности Южно-Сахалинского газоводогрязевого вулкана (о. Сахалин) // Тихоокеан. геология. 1999. Т. 18, № 3. С. 37–46.
7. Мельников О.А. Южно-Сахалинский газоводолитокластитовый (“грязевой”) вулкан – уникальный объект Природы на Дальнем Востоке // Путеводитель экскурсии на вулкан для участников международного научного симпозиума 24–28 сентября 2002 года. Южно-Сахалинск: ИМГиГ СахНЦ ДВО РАН. 2002. 46 с.
8. Сайто Ф. Близ железной дороги Тохара-Маока на Южном Сахалине / Пер. с япон. З.И. Кургановой. Тигаку Дзаси. 1928. Т. 40, № 477. С. 1–5. (Фонды ИМГиГ ДВО РАН).
9. Сырык И.М. Грязевые вулканы Южного Сахалина – вероятные спутники нефтяных и газовых месторождений // Геология и геофизика. 1962. № 7. С. 66–75.
10. Шилов В.Н., Захарова М.А., Ильев А.Я., Подзоров А.В. Извержение Южно-Сахалинского грязевого вулкана весной 1959 года // Труды СахКНИИ. Южно-Сахалинск, 1961. Вып. 10. С. 83–99.

Рекомендована к печати Б.В. Левиным

V.V. Zhigulev, M.G. Gurinov, V.V. Yershov

Deep structure of the Yuzhno-Sakhalinsk mud volcano from the results of complex seismic surveys

Results of complex seismic surveys carried out by refraction and reflection methods (using longitudinal and transversal oscillations) on the Yuzhno-Sakhalinsk mud volcano are presented. The existence of a dead (about 60–70 years ago) large volcanic formation in the proximity of the active volcano was confirmed. Its external structure was determined. The relation between the discovered intermediate gas-mud chambers and the distinguished tectonic dislocations was established. A supposition was made on the stage-by-stage development of volcanism in the north-eastern direction and its probable relation to recent tectonics of the Central-Sakhalin fault.

Key words: seismic survey, reflected and refracted waves, P- and S-waves, mud volcano, gryphons, tectonic dislocations.