

УДК 551.245.(261.5)

СТРОЕНИЕ СЕВЕРНОЙ ОСТРОВНОЙ ОКРАИНЫ ИСЛАНДИИ И ТЕКТОНИКА ЮЖНОЙ ЧАСТИ ХРЕБТА КОЛБЕЙНСЕЙ

© 2015 г. С.В. Усенко^{1,2}, В.К. Илларионов², А.Н. Бойко², А.Е. Шлезингер³

¹ *Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН, г. Москва, Россия*

² *Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, Россия*

³ *Институт геологии РАН, г. Москва, Россия*

По материалам непрерывного сейсмического профилирования (НСП) рассмотрена тектоническая структура поверхности акустического фундамента и дна акватории к северу от Исландии. В осадочном чехле установлены две региональные поверхности несогласия, выделены три сейсмических комплекса – миоценовый, плиоценовый, четвертичный, – формирование которых происходило в условиях дифференцированного тектонического режима. Намечен кайнозойский палеотектонический структурный план, формировавшийся в условиях неглубокой (до сотен метров) акватории, а местами наземной суши. Современный облик северная островная окраина приобрела в конце четвертичного времени в результате кратковременного погружения.

Ключевые слова: непрерывное сейсмическое профилирование (НСП), тектонические нарушения, акустический фундамент, осадочный чехол, границы несогласия, кайнозойский палеотектонический структурный план.

Введение

Район исследований охватывает северную окраину острова Исландия, включая южную часть хребта Колбейнсей, являющегося звеном мировой системы срединно-океанических хребтов. В пределах острова с юго-запада на северо-восток протягивается Центральный грабен, звено рифтовой зоны срединно-океанического хребта, расположенное на суше, в котором отмечается современный вулканизм и высокая сейсмичность. К западу и востоку от Центрального грабена размещаются области покровных третичных платобазальтов. На шельфе у северного побережья Исландии в месте выхода Центрального грабена обнаружено поперечное смещение к западу контуров желобов и банок и эпицентров землетрясений, что позволило предположить существование здесь зоны разлома Хусавик [Suxes, 1965; Vogt, 1974; Johnson, 1974].

К северу от названного поперечного смещения продолжение рифтовой зоны в пределах шельфовой области Исландии прослеживается по цепи небольших, смещенных друг относительно друга поднятий и гребней, одним из которых является остров Колбейнсей с одноименным хребтом [Исландия ..., 1977; Ельников и др., 1984]. Ранее [Исландия ..., 1977; Ельников и др., 1984; Johnson, 1974] в южной части хребта Колбейнсей отмечалось отсутствие рифтовой долины; при этом в названном районе собраны образцы свежих базальтовых лав недавних вулканических излияний. Молодые лавы обнаружены также на подводной банке Тьернесгун [Soemundsson, 1974].

В районе исследований выполнен достаточно большой объем геолого-геофизических исследований, в том числе непрерывное сейсмическое профилирование (НСП) в рейсах 10 (1973 г.) и 23 (1976 г.) судна “Академик Курчатов” (рис. 1).

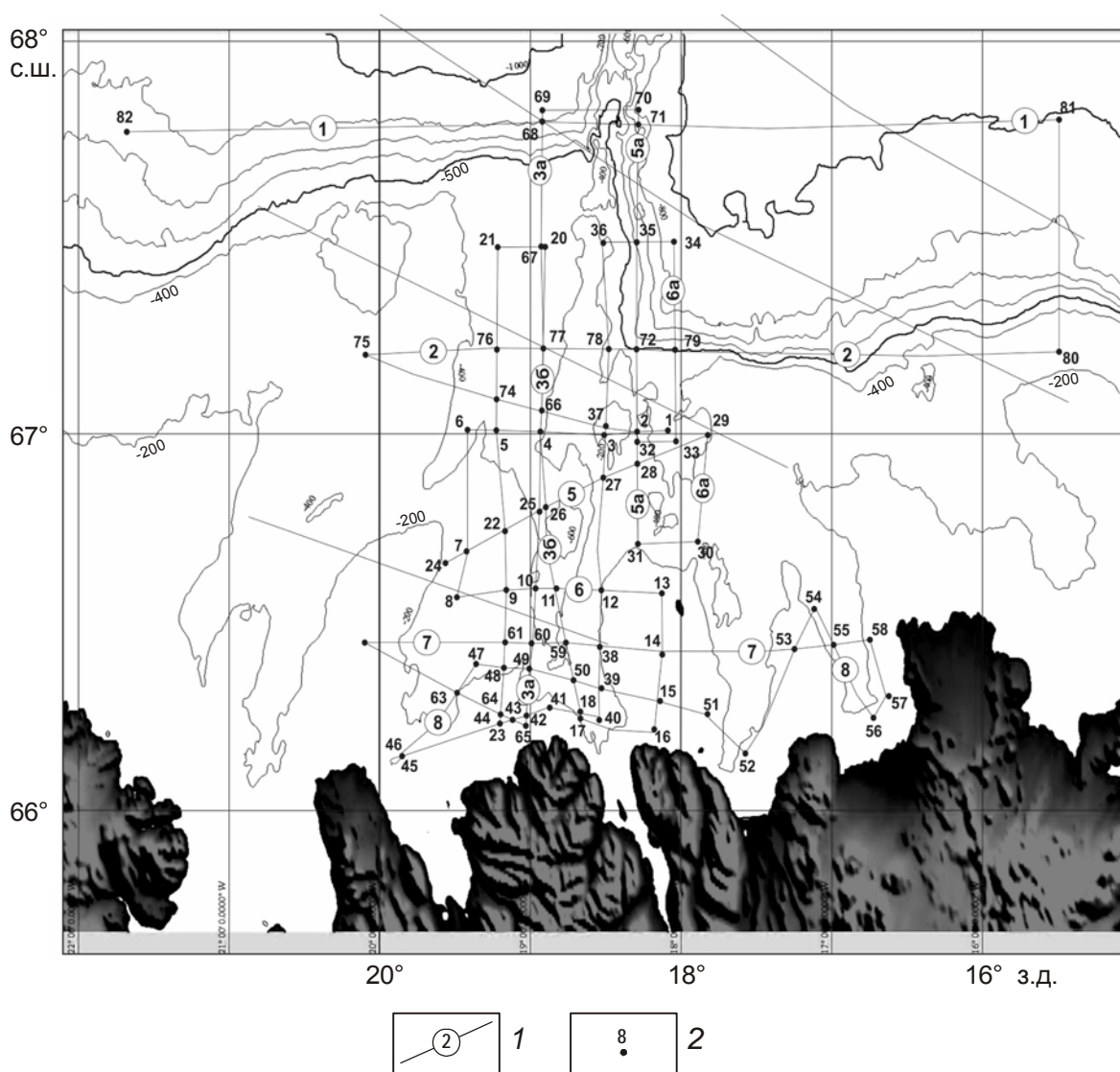


Рис. 1. Схема расположения профилей непрерывного сейсмического профилирования, выполненного в рейсах НИС “Академик Курчатов” (рейс 10, 1973 г.; рейс 23, 1976 г.) на батиметрической карте исследуемого региона

1 – профили НСП; 2 – точки, маркирующие начало, окончание и пересечение профилей

По материалам рейса 23 были составлены и опубликованы [Ельников и др., 1984] схемы рельефа акустического фундамента (Аф), мощности осадков, представлены общие морфоструктурные характеристики шельфа Исландии и хребта Колбейнсей, намечено положение субширотной зоны разлома Тьернес.

Содержащаяся во временных разрезах НСП сейсмическая информация позволяет не только выполнить структурные построения, но и проанализировать эволюцию рассматриваемой акватории с позиций сейсмостратиграфии. Разрешающая способность НСП [Ельников и др., 1984] составляет 30–40 м при максимуме спектра возбуждаемых колебаний 90 Гц. Сеть пересекающихся профилей дает возможность увязывать сейсмические отражения в разных плоскостях разреза, подтверждая хроностратиграфическую значимость этих отражений. Кратные отражения от поверхности дна в большинстве случаев хорошо идентифицируются и не искажают информативное волновое сейсмическое поле (рис. 2).

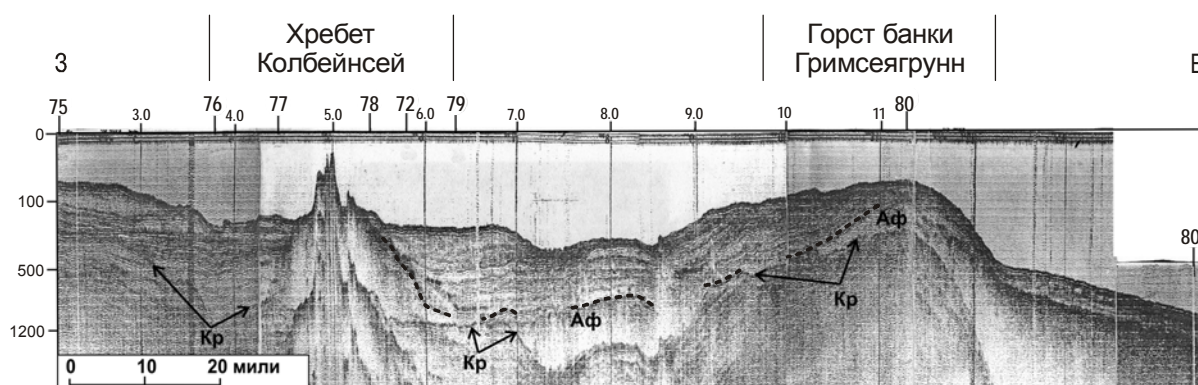


Рис. 2. Временной разрез НСП по профилю 2. Аф – акустический фундамент (пунктиром выделены соответствующие ему отражения); Кр – кратные волны. На горизонтальной оси крупные цифры – точки, маркирующие начало, окончание и пересечение профилей, мелкие – марки времени движения судна (t , ч). Положение профиля см. на рис. 1

Структура поверхности акустического фундамента и тектонические нарушения

При оценке глубины залегания акустического фундамента за его поверхность на временных разрезах НСП принималась отраженная волна, маркирующая образования хребта Колбейнсей у поверхности дна и коррелируемая на глубину. В зонах большой мощности осадочных отложений за поверхность акустического фундамента принималось наиболее глубокое отражение, ниже которого корреляция протяженных осей синфазности невозможна, а запись становится акустически прозрачной или хаотичной. В прибрежной зоне острова в качестве Аф принималось наклонное к поверхности дна динамически выраженное отражение, вблизи которого прекращается прослеживание субгоризонтальных и наклонных отражений с достаточно уверенной фазовой корреляцией. Аналогичным образом решался вопрос о положении Аф в районах поднятий цоколя Исландии на шельфе острова.

Наиболее глубокие прогибы в рельефе фундамента расположены у западного и восточного флангов хребта Колбейнсей на профилях 2 и 3а. В северо-восточной части рассматриваемой площади наблюдается поднятие в виде горста (см. рис. 2), являющееся северным окончанием банки Пистилфьердангрунн.

Хребет Колбейнсей в рельефе акустического фундамента между 68° с.ш. и 67° с.ш. имеет сравнительно простое строение и вид линейного субмеридионального вала пирамидальной формы (см. рис. 2) с острой вершиной. Крутые фланги осложнены остроконечными вершинами более низкого порядка, разделенными субвертикальными разломами. Исследование механизмов землетрясений указывает на их сбросовую природу [Жолондз, Яновская, 2011]. В районе 67° с.ш. и $18^\circ 30'$ з.д. хребет Колбейнсей приобретает широкую асимметричную форму, в которой отмечают два генеральных простирания: одно в направлении север–юг, другое – северо-запад–юго-восток (рис. 3). Далее на юго-восток узкое горстовое поднятие хребта Колбейнсей смыкается с горстовым поднятием банки Гримсеягрунн. К юго-западу от центральной асимметричной зоны расположены два субпараллельных горста, ориентированных в направлении северо-запад–юго-восток, которые южнее граничат с субмеридиональным грабенообразным прогибом. Небольшое горстовое поднятие в центре прогиба разделяет его на западную и восточную части. Максимальная глубина залегания поверхности акустического фундамента в западной части достигает 1200 м от уровня моря.

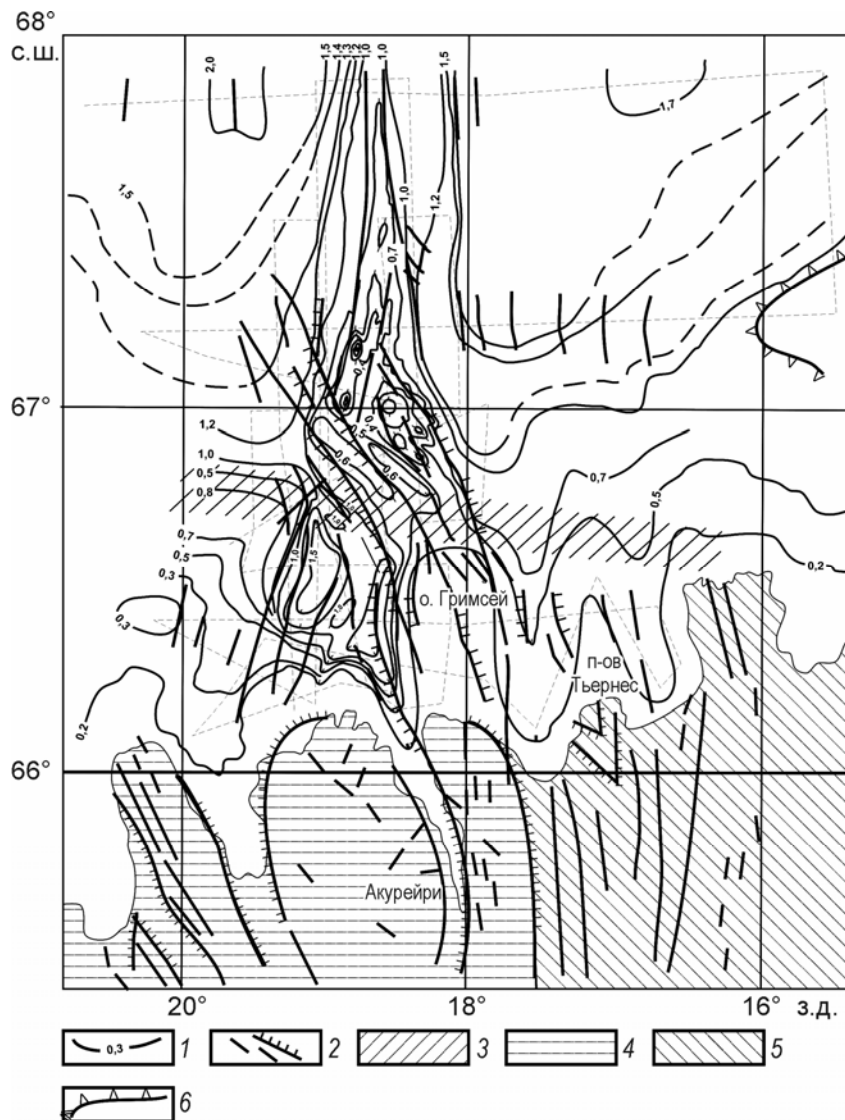


Рис. 3. Структура поверхности акустического фундамента и тектонические нарушения

1 – изолинии рельефа акустического фундамента, с; 2 – разломы (сбросы) и трещины; 3 – зона разлома Гьернес¹; 4 – третичные плато-базальты Исландии¹; 5 – рифтовая зона с четвертичными и современными вулканическими образованиями¹; 6 – выступ акустического фундамента

Анализ временных сейсмических разрезов позволил выделить разрывные нарушения поверхности акустического фундамента. В их взаимном расположении в плане наблюдаются три тренда простирания (см. рис. 3) – юг–север, юго-восток–северо-запад, юго-запад–северо-восток. Последний тренд наблюдается в юго-западной части шельфа Исландии, где в рельефе акустического фундамента присутствует грабенобразный прогиб. Интересной особенностью является то, что область пересечения разломов с различным простиранием совпадает в плане с асимметричной зоной в рельефе поверхности акустического фундамента. На пересекающих эту зону временных сейсмических разрезах в разных сечениях наблюдается скупивание горстовых поднятий, что позволяет предположить в этой области наложение разнонаправленных тектонических напряжений. Именно здесь, на наш взгляд, происходит сопряжение структур Исландии

¹ по [Ельников и др., 1984].

с хребтом Колбейнсей. Следует отметить, что намеченные на акватории разломы хорошо коррелируются с разломами, наблюдаемыми на суше Исландии.

Структура поверхности океанского дна

В современном рельефе дна к северу от острова Исландия (см. рис. 1) можно выделить три довольно крупных морфоструктурных элемента – широкий шельф, субширотную флексуру и субмеридиональное узкое поднятие, отвечающее хребту Колбейнсей. Относительно широкий шельф Исландии расчленен субмеридиональными структурными заливами, которые раскрываются в сторону островного склона в виде шести крупных банок, вытянутых на север. Глубина дна варьирует от 100 м в прибрежной зоне до 600 м в замкнутых депоцентрах. Субширотная флексура характеризуется высоким градиентом перепада глубин островного склона в интервале 400–800 м. Далее островной склон полого погружается до 1500 м, переходя в океаническую котловину.

Субмеридиональный хребет Колбейнсей, протягиваясь через островной склон в пределы шельфа, по 18° з.д. делит флексуру на две части – восточную и западную. Западная часть флексуры смещена относительно восточной на 80 км к северу. Хребет Колбейнсей к югу от одноименного острова ограничивается впадиной шельфового желоба, имеющей глубину около 600 м. К юго-востоку от впадины располагается цепь небольших поднятий, которую рассматривают [Ельников и др., 1984] как ответвление хребта через остров Гримсей к банке Тьернесгрун, где к береговой линии выходят структуры Центрального грабена Исландии.

Строение осадочного чехла

В осадочном чехле выделены две региональные поверхности несогласия, разделяющие осадочный чехол на три сейсмических комплекса (рис. 4) – нижний (I), средний (II) и верхний (III). Стратиграфическая привязка выделенных поверхностей несогласия в осадочном чехле затруднительна. Ближайшая скв. 348 расположена за пределами исследуемого района, на Исландском плато, где осадочный чехол имеет мощность 544 м и представлен олигоцен-миоценовыми, плиоценовыми и четвертичными отложениями.

На восточной континентальной окраине Гренландии (71° с.ш., 19° з.д.) по разрезу сверху вниз выделены [Hinz, Schlüter, 1980] четыре сейсмокомплекса:

- G-1 – четвертичный, представленный гляциальными осадками;
- G-2 – четвертичный, возможно, клиноформный, представленный гляциально-морскими осадками;
- G-3 – плиоценовый, возможно, клиноформный;
- GR-4 – верхнемиоценовый, субгоризонтальный,

которые отчетливо прослеживаются на временных сейсмических разрезах. Если два верхних комплекса – G-1, G-2 – объединить в один, то можно говорить о схожести строения осадочного чехла по нашим данным и по [Hinz, Schlüter, 1980]. Поэтому в первом приближении выделяемые нами комплексы могут быть стратифицированы как миоценовый (I), плиоценовый (II), четвертичный (III).

Нижний комплекс в прогибах акустического фундамента, где отмечается максимальная мощность всего осадочного чехла (1000 м), имеет наибольшую мощность (600–800 м) и состоит из трех соизмеримых по мощности подкомплексов, разделенных субпараллельными поверхностями (см. рис. 4, Пр. 1, 2).

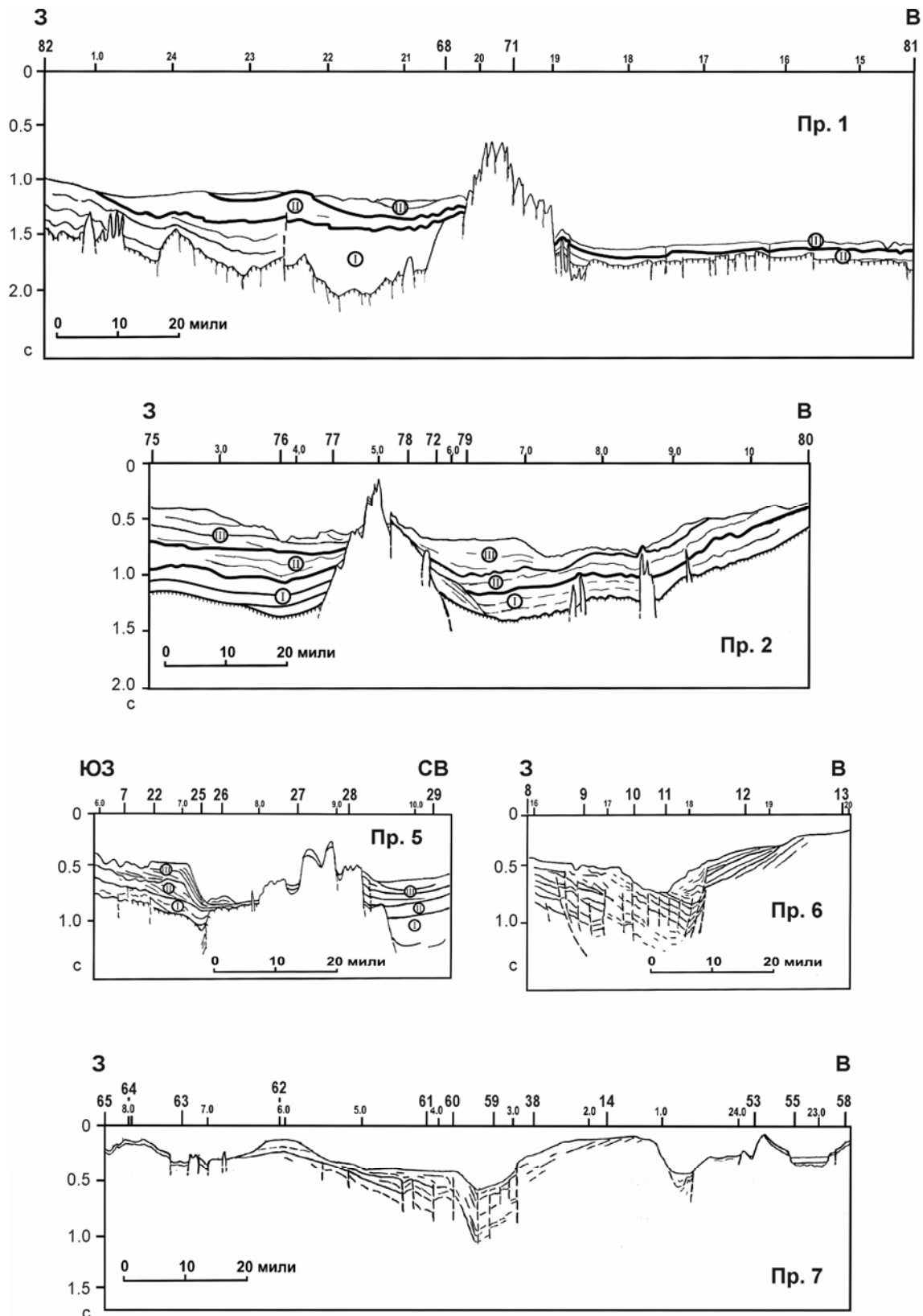


Рис. 4

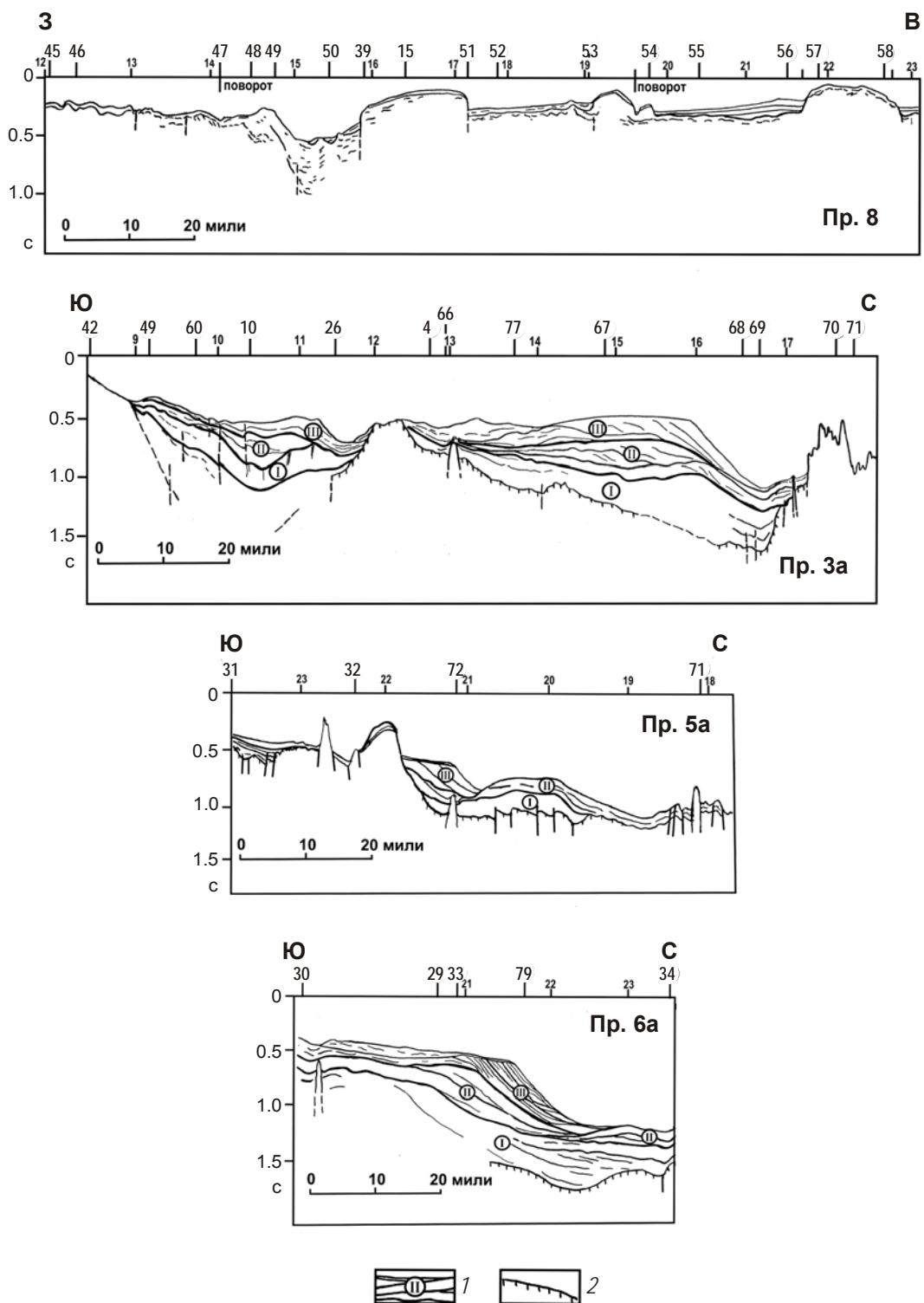


Рис. 4. Разрезы, построенные в исследуемом районе по данным НСП

1 – поверхности несогласия и номер сейсмокомплекса; *2* – поверхность акустического фундамента. На горизонтальных осях то же, что на рис. 2

Средний комплекс на временных сейсмических разрезах имеет, вероятно, клиноформное строение; уменьшение возраста осадков происходит в направлении с юга на север. Внутреннее строение клиноформных тел свидетельствует об их формировании в трансгрессивно-регрессивном цикле изменения уровня моря, при этом основную роль в процессе формирования играла региональная тектоника. Максимальная мощность комплекса составляет ~400 м (см. рис. 4, Пр. 6), к западу от хребта Колбейнсей (см. рис. 4, Пр. 3а) и отмечается в областях наибольшей мощности кайнозойского чехла (рис. 5). Приблизительный расчет глубины палеобассейна [Кунин, Усенко, 1985] по элементам северных клиноформ (рис. 4, Пр. 3а, 6а) дает глубину порядка 800 м к востоку от хребта Колбейнсей ($67^{\circ}15'$ с.ш., $18^{\circ}10'$ з.д.) и 600 м к западу от него в районе точек 68–69 (см. рис. 1).

Верхний комплекс, вероятно, также имеет клиноформное строение (см. рис. 4, Пр. 5а, 6а); его максимальная мощность ~400 м наблюдается в северо-западной части региона (см. рис. 4, Пр. 1) и к востоку от хребта Колбейнсей (см. рис. 4, Пр. 6а). Кровлей комплекса является поверхность океанского дна. Общая максимальная мощность осадочного чехла к западу от хребта Колбейнсей достигает 1000 м (рис. 5).

Анализ латерального распределения мощности осадочного чехла и его внутренней структуры позволяет отметить некоторые особенности тектоники региона. На акватории острова Исландия расположены три достаточно крупных депоцентра кайнозойского осадконакопления: два находятся на севере региона к западу и востоку от хребта Колбейнсей, третий, приуроченный к грабенообразному прогибу акустического фундамента у островного берега, – на юго-западе. Эти области характеризуются наибольшей мощностью осадочного чехла и представляют собой раннекайнозойские впадины.

В северной области на субширотном профиле 1 (см. рис. 4) наблюдается отчетливая асимметричность строения верхней части земной коры к западу и востоку от хребта Колбейнсей. На западе мощность осадков достигает 1000 м, на востоке не превышает 300 м. Поверхность акустического фундамента в западной области, имеющая дифференцированный рельеф, погружена глубже, формируя глубокий прогиб у подножия склона хребта. Здесь отмечаются локальные горстовые поднятия. К востоку ровная с частыми разломами поверхность акустического фундамента расположена на более высоком гипсометрическом уровне. Океанское дно на этом участке на 350 м глубже, чем на западе.

В центральной части региона вдоль субширотного профиля 2 (см. рис. 4) асимметрия в строении осадочного чехла относительно хребта Колбейнсей не наблюдается. Происходит выравнивание уровней поверхности акустического фундамента и поверхности океанского дна. На востоке наблюдается поднятие в рельефе акустического фундамента, которое является горстовым выступом цоколя Исландии (см. рис. 2). На западном склоне этого поднятия отложения комплекса I выходят под эрозионный срез. В нижней части восточного склона хребта Колбейнсей на временном сейсмическом разрезе (см. рис. 2) отмечается обособленный пакет наклонных отражений, у которого прекращается прослеживание субгоризонтальных отражений. Учитывая характер расположения присклонового сейсмического пакета и его внутреннюю структуру, можно предположить, что ему соответствует тело, сформированное, возможно, базальтовыми потоками, которое древнее примыкающих к нему осадочных слоев.

В целом, характер прилегания осадочных слоев к поверхности склона хребта Колбейнсей позволяет предположить, что хребет испытывал конседиментационный рост в миоцен-плиоценовое время. Субгоризонтальное залегание слоев на широтных профилях свидетельствует, что профили секут вероятные клиноформные образования чехла вкрест их продвижения с юга на север.

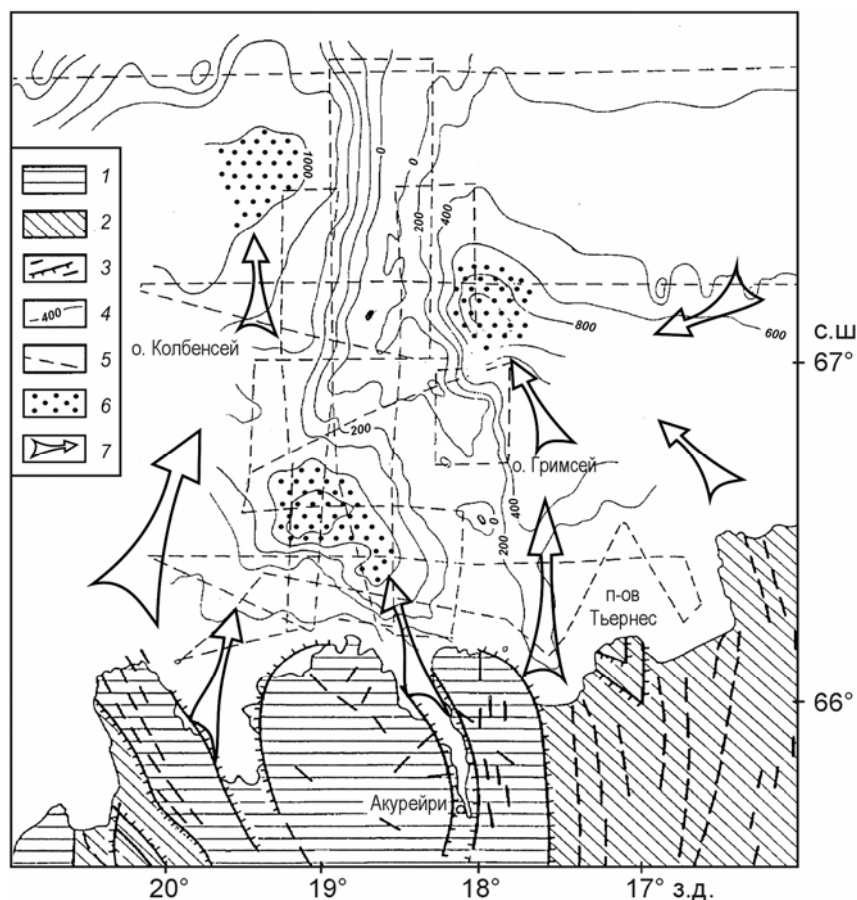


Рис. 5. Схема мощности осадочного чехла по [Ельников и др., 1984] (с дополнениями)

1 – третичные платобазальты Исландии; 2 – рифтовая зона с четвертичными и современными вулканическими образованиями; 3 – трещины и разломы (сбросы); 4 – изопахиты осадков; 5 – маршруты съемки; 6 – депоцентры кайнозойского прогибания; 7 – направление сноса осадочного материала

Клиноформное строение на субмеридиональных профилях указывает, что снос осадочного материала при их формировании происходил, в основном, с юга на север. Области наибольшей мощности кайнозойского чехла приурочены к флексурам островного склона.

Заключение

В результате выполненных исследований установлены особенности строения южной части хребта Колбейнсей, который представляет собой асимметричный в плане блок фундамента, состоящий из группы горстовых сооружений различного простирания. К этому блоку приурочено тройное сочленение разнонаправленных трендов тектонических напряжений.

В осадочном чехле выделены две региональные поверхности несогласия, отвечающие наиболее значимым изменениям палеотектонических условий осадконакопления. Выделены три сейсмических комплекса – миоценовый, плиоценовый и четвертичный.

Депоцентры осадконакопления расположены в прогибах, заложение которых происходило в раннемиоценовое время; два самых крупных северных депоцентра при-

урочены к северному островному склону Исландии. В миоцене северная окраина острова была шельфовой областью с незначительными глубинами (порядка первых сотен метров). Осадконакопление происходило, в основном, в трех относительно глубоких впадинах. Две северные впадины располагались к северу и востоку от образовавшегося хребта Колбейнсей.

Внутреннее строение выделенных сейсмокомплексов позволяет предполагать, что хребет испытывал конседиментационный рост в плиоцене. В восточной части рассматриваемого района существовало поднятие, где эрозии подвергались миоценовые отложения. В раннечетвертичное время береговая окраина острова, как и сам остров, по-видимому, имели высокое стояние. Осадконакопление происходило в основном в раннекайнозойских впадинах. Глубина палеобассейна в области северных депоцентров, расположенных в пределах островного склона, составляла 600–800 м.

Современный облик островная окраина обрела в конце четвертичного времени в результате относительно быстрого погружения. Поверхность океанского дна отражает тектонический структурный план региона.

Литература

- Ельников И.Н., Литвин В.М., Гайнанов В.Г., Стручков В.А. Рельеф акустического фундамента и мощность осадочного чехла в районе сочленения хребта Колбейнсей с рифтовой зоной Исландии // *Океанология*. 1984. Т. 14, № 5. С.782–788.
- Жолондз А.С., Яновская Т.Б. Новейшие данные о сейсмичности глубоководной части Северного Ледовитого океана // *Проблемы Арктики и Антарктики*. 2011. № 2 (88). С.62–68.
- Исландия и срединно-океанический хребет. Строение дна океана. М.: Наука, 1977. 206 с.
- Кунин Н.Я., Усенко С.В. Методика определения глубины палеобассейна при сейсмостратиграфическом анализе клиноформ (на примере неокомского бассейна Западной Сибири). М.: ИФЗ РАН, 1985. ВИНТИ деп. № 7962-85.
- Hinz K., Schlüter H.-U. Continental margin off East Greenland // *Proc. 10 World Petrol Congress 2*. 1980. P. 405-418.
- Johnson G.L. Morphology of the mid-ocean ridges between Iceland and the Arctic Basin // *Geodynamics of Iceland and the North Atlantic Area / Ed. L. Kristiansson*. Dordrecht: Reidel, 1974. P.49–62.
- Soemundsson K. Evolution of the Axial Rifting Zone in Northern Iceland and the Tjörnes Fracture Zone // *Bull. Geol. Soc. America*. 1974. V. 85, N 4. P.495–504.
- Sykes L.R. The seismicity of the Arctic // *Bull. Seismol. Soc. Amer.* 1965. V. 55, N 2. P.501–518.
- Vogt P.R. The Iceland phenomenon: imprints of hot spot on the ocean crust and implications for flow below the plates // *Geodynamics of Iceland and the North Atlantic Area / Ed. L. Kristiansson*. Dordrecht: Reidel, 1974. P.105–126.

Сведения об авторах

УСЕНКО Сергей Владимирович – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН, 117997, Москва, Профсоюзная ул., д. 84/32; Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, 123995, ГСП-5, Москва, Д-242, ул. Большая Грузинская, д. 10, стр. 1. Тел.: 8(499) 254-68-95. E-mail: svu2255@mail.ru

ИЛЛАРИОНОВ Владимир Константинович – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. 123995, ГСП-5, Москва, Д-242, ул. Большая Грузинская, д. 10, стр. 1. Тел.: 8(499) 254-68-95.

БОЙКО Анатолий Николаевич – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. 123995, ГСП-5, Москва, Д-242, ул. Большая Грузинская, д. 10, стр. 1. Тел.: 8(499) 254-68-95.

ШЛЕЗИНГЕР Александр Ефимович – доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник, Институт геологии РАН. 119017, Москва, Пыжевский пер., д. 7. Тел.: 8(499) 457-95-79.

THE STRUCTURE OF THE NORTHERN ISLAND MARGIN OF ICELAND AND THE TECTONICS OF THE SOUTHERN PART OF THE COLBEYNSEY RIDGE

S.V. Usenko^{1,2}, V.K. Illarionov², A.N. Boyko², A.E. Shlezinger³

¹ *Institute of Earthquake Prediction Theory and Mathematical Geophysics, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

² *Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

³ *Geological Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

Abstract. On the basis of the single channel seismic reflection profiles the tectonic structure of the acoustic basement surface and sea floor to northward from Iceland is analyzed. Two regional discontinuities as well as three seismic units (Miocene, Pliocene and Quaternary) in the sedimentary cover are recognized. The formation of the seismic units takes place in the conditions of the differential tectonic regimes. The Cenozoic paleostructural pattern forming in the shallow sea (up to 100 m) and terrestrial land was determined. The northern island margin obtained the modern outlook in the late Quarter, as a result of a short-time submerge.

Keywords: single channel seismic reflection profiles, tectonic rupture, acoustic basement, sedimentary cover, discontinuities, Cenozoic paleostructural pattern.