

УДК 550.34

ОЦЕНКИ ИСХОДНОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ ДЛЯ ШЕЛЬФОВЫХ СООРУЖЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ ПЕЧОРСКОГО МОРЯ

© 2024 г. С. А. Ковачев*, Н. В. Либина

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

**e-mail: kovachev@ocean.ru*

Поступила в редакцию 16.05.2023 г.

После доработки 20.05.2023 г.

Принято к публикации 06.06.2023 г.

Сейсмотектонические и сейсмоакустические исследования, выполненные в экспедиции на НИС «Академик Борис Петров» в Печорском море, обнаружили палеосейсмодислокацию, приуроченную к разломной зоне, трассирующей Североуральский сейсмический линеамент. Амплитуда этой дислокации (относительное смещение ее бортов) позволяет оценить магнитуду древнего землетрясения, которое произошло в пределах Североуральского линеамента. Используя значение этой магнитуды, были сделаны оценки максимальных сейсмических воздействий на морские нефтегазовые сооружения, которые уже эксплуатируются и проектируются для строительства в северо-восточной части Печорского моря. Эти оценки существенным образом отличаются в большую сторону от подобных оценок, сделанных ранее. Методика поиска палеосейсмодислокаций сейсмоакустическими методами, а также линеаментный анализ могут использоваться для оценки исходных сейсмических воздействий в акваториях, включая море Лаптевых, как наиболее сейсмоактивный район Арктики.

Ключевые слова: Печорское море, разломы, линеаментный анализ, сейсмоакустические методы, палеосейсмодислокация, сейсмическая опасность

DOI: 10.31857/S0030157424010123, **EDN:** SNHUTL

ВВЕДЕНИЕ

Оценка сейсмической опасности на шельфах внутренних и окраинных морей России и разработка карт сейсмического районирования, включая общие и детальные карты сейсмического районирования, а также карты сейсмического микрорайонирования, становится актуальной научно-практической задачей. Это происходит в связи с активным освоением арктического бассейна России, развитием здесь морской нефтегазодобычи и освоением Северного морского пути.

В настоящее время отсутствует единый нормативный документ, определяющий порядок выполнения работ по обеспечению сейсмостойкости морских сооружений. Это обусловлено весьма короткой историей производства строительных работ на шельфах, с одной стороны, а также спецификой условий и более высокой сложностью решения научно-технических проблем в этой области, с другой. Принимая во внимание широкое развитие строительства сооружений на морском дне в настоящее время, возникает настоятельная необходимость в регламентации и упорядочении работ по обоснованию их сейсмостойкости.

Существенным недостатком действующих нормативных карт общего сейсмического районирования ОСР-2015 является полное отсутствие данных об интенсивности сейсмических сотрясений в акваториях внутренних и окраинных морей России в отличие от карт общего сейсмического районирования ОСР-97. Отсутствие карт общего сейсмического районирования для акваторий морей России значительно затрудняет разработку карт детального сейсмического районирования и тем более сейсмического микрорайонирования отдельных участков шельфовых областей.

Что касается морских нефтегазовых сооружений, то современная нормативная база, регламентирующая проектирование объектов нефтегазового комплекса содержит целый ряд противоречий [24], которые не позволяют однозначно определить критерии проектирования.

Для акваторий Печорского и Карского морей, их берегов и островов фрагменты карт ОСР приведены на рис. 1.

Сейсмическая опасность существенным образом увеличивает экологическую опасность.

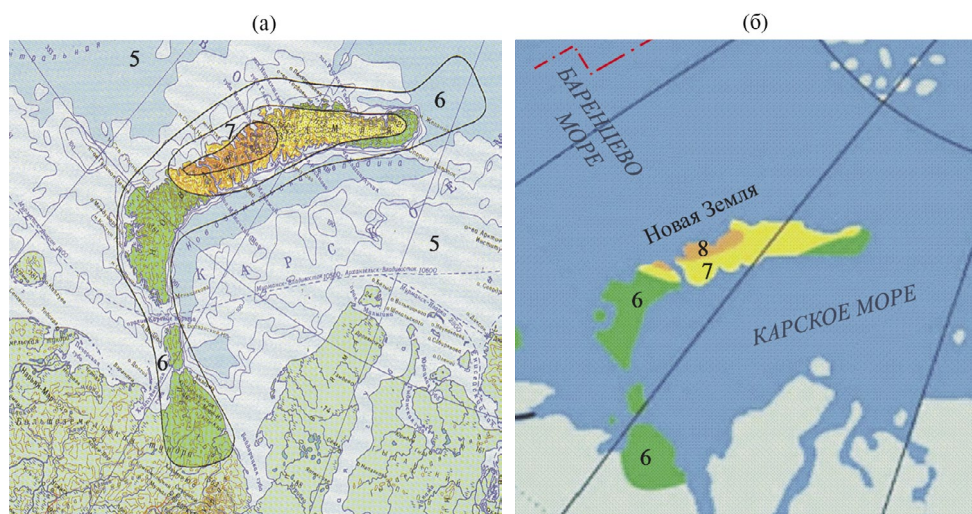


Рис. 1. Фрагменты карт общего сейсмического районирования ОСР-97С (а) и ОСР-2015С (б) для акваторий Печорского и Карского морей для вероятности превышения интенсивности сейсмических сотрясений 1% за 50 лет эксплуатации сооружения (период повторяемости сотрясений 5000 лет). Черными цифрами указана интенсивность сотрясений в баллах шкалы MSK-64, черные контуры — изолинии бальности.

Особенно это касается морских нефтегазодобывающих (платформы и манифольды) и транспортирующих (подводные трубопроводы и терминалы) сооружений. Аварии на этих объектах могут вызвать утечки нефти и причинить природе непоправимый ущерб. Достаточно вспомнить аварию на платформе ВР в Мексиканском заливе.

В Печорском море производится добыча нефти на Приразломном месторождении и идет подготовка к установке платформ на лицензионных участках: Северо-Западном, Южно-Приновоземельском, Долгинском, Западно-Матвеевском, Медынско-Варандейском и др.

В настоящей работе изложены методы и результаты уточнения исходной сейсмичности (УИС) для части акватории Печорского моря. При этом были использованы отдельные результаты геолого-геофизических исследований, проводившихся в вышеуказанных районах в экспедициях Института океанологии РАН на НИС «Академик Николай Страхов» и НИС «Академик Борис Петров».

Если в исследуемой акватории не проводились донные сейсмологические наблюдения, детальное сейсмическое районирование по методике, описанной, например, в работе [4], выполнить невозможно. Использование донных сейсмографов позволяет находить ранее неизвестные особенности сейсмического процесса и региональной тектоники в исследуемой акватории, которые существенным образом влияют на оценку сейсмической опасности [5, 6, 21, 31, 33]. Необходимо также учитывать цунамиопасность акватории, которая напрямую связана с сейсмической опасностью [8].

В настоящем исследовании результаты донных сейсмологических исследований не использовались.

В соответствии с ранее выполнявшимися работами по оценке сейсмической опасности (разработка карт ОСР-97) акватории Печорского и Карского морей с береговыми и островными примыканиями считаются практически асейсмичными [26]. Интенсивность сейсмических сотрясений здесь не превышает 5 баллов за исключением островов архипелага Новая Земля (6–8 баллов), пролива Карские ворота, о. Вайгач и п-ова Югорский (езде по 6 баллов) (см. рис. 1а).

Эти исследования выполнялись вероятностным методом оценки сейсмической опасности (ВАСО) с использованием модели зон возможных очагов землетрясений (зон ВОЗ) в виде рассеянной сейсмичности (доменная модель) [26].

В предыдущих исследованиях [2] было определено, что в шельфовой зоне Печорского моря, примыкающей к о. Южному архипелага Новая Земля, возможны сейсмические сотрясения величиной 4.5 балла.

В работе [12] южный шельф Печорского моря (северо-западная оконечность Североуральского линеамента), примыкающий к югу архипелага Новая Земля, отнесен к 5-ти балльной зоне интенсивности сейсмических сотрясений для периода повторяемости 5000 лет.

В другой работе [13] при оценке исходной сейсмичности Приразломного месторождения к максимальному расчетному землетрясению (МРЗ) были отнесены землетрясения с $T = 10000$ лет.

Для такого землетрясения максимальная амплитуда ускорений сейсмического воздействия $A_{\max} = 1.00 \text{ м/с}^2$ ($I = 7$ баллов). Для проектного землетрясения (ПЗ) было принято: $A_{\max} = 0.44 \text{ м/с}^2$ ($I = 6$ баллов) [13]. Эта оценка на 2 балла превышает исходную сейсмичность, полученную при составлении карты ОСР-97С, хотя возможная причина этого расхождения может объясняться тем, что последняя выполнена для периода повторяемости сотрясений $T = 5000$ лет.

Расчеты по оценке сейсмической опасности, выполненные авторами [13] с учетом Североуральской зоны ВОЗ, которая представлена сейсмоактивным линеamentом с $M_{\max} = 5.0$ и глубиной очага $h = 10$ км (рис. 2), показывают, что зону 6-балльных сотрясений, указанную на карте ОСР-97С и просматриваемую на карте ОСР-2015С

(см. рис. 16), необходимо сместить к юго-западу в акваторию Печорского моря (см. рис. 2). Кроме того, введение в схему зон ВОЗ Североуральского линеамента увеличивает сейсмическую опасность северо-восточной части Печорского моря, по крайней мере, на 1 балл до 7 баллов по шкале MSK-64 (см. рис. 2).

В работе [1] приведена карта наиболее вероятных зон ВОЗ арктического региона. На этой карте Североуральская зона ВОЗ и сейсмоактивный линеament с $M_{\max} = 5.0$ вообще не выделяются.

О существовании Североуральского линеамента с $M = 5.0$ и $h = 10$ написано в монографии [17]. Эта книга под редакцией А.Ф. Грачева была выпущена в 2000 г., из-за этого при создании карт ОСР-97 Североуральский линеament не учитывался. На более

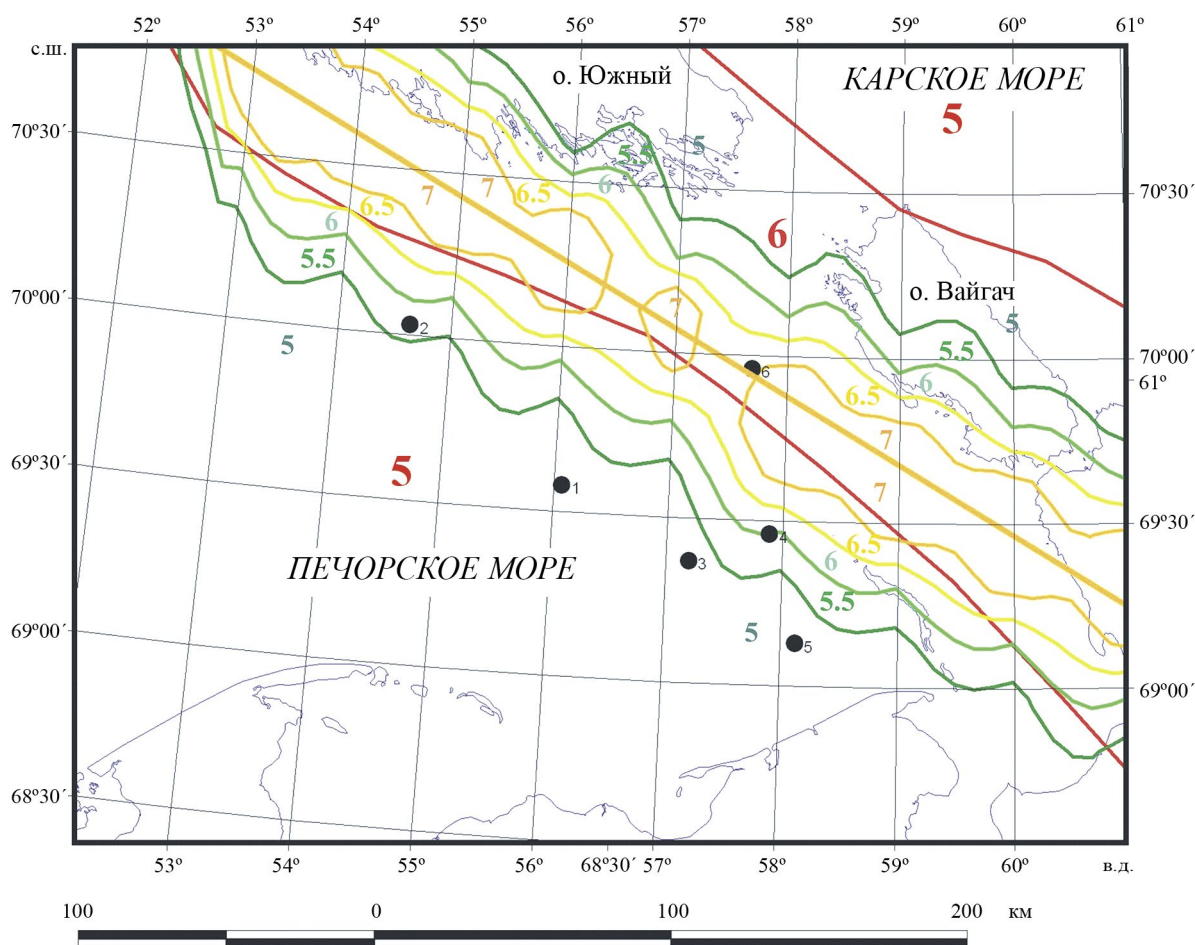


Рис. 2. Карта распределения интенсивности сейсмических сотрясений в акватории Печорского моря из работы [13], построенная с учетом Североуральского линеамента ($M_{\max} = 5.0$; $h = 10$ км). Интенсивность сотрясений показана изолиниями разных цветов и числами, положение Североуральского линеамента показано прямой линией оранжевого цвета. Коридор, ограниченный коричневыми линиями, — зона шестибальных сотрясений, указанная на карте ОСР-97С, коричневые цифры (5 и 6) соответствуют интенсивности сотрясений на той же карте. Черными точками с номерами показаны центры лицензионных участков: 1 — Долгинский, 2 — Северо-Западный, 3 — Приразломный, 4 — Западно-Матвеевский, 5 — Западно-Матвеевский, 6 — Южно-Приновоземельский.

поздних картах (ОСР-2015 и 2016) [25] сейсмические воздействия в акваториях не указаны.

Зоны ВОЗ в монографии [17] выделены на основании значительного объема исходных данных, это карты:

- 1) новейшей тектоники в масштабе 1 : 2500000;
- 2) разломов разного возраста и их суммарной плотности в масштабе 1 : 5000000;
- 3) интенсивностей современных и новейших деформаций изгиба литосферы в масштабе 1 : 10000000;
- 4) плотностных неоднородностей земной коры в масштабе 1 : 10000000 на основе сейсмоплотностного моделирования;
- 5) инверсионных структур различного возраста в осадочном чехле в масштабе 1 : 20000000;
- 6) геодинамического районирования на основе факторного и кластерного анализов базовых переменных в масштабе 1 : 10000000.

Тем не менее остается вопрос: как авторы работы [17] определили главные параметры зоны ВОЗ «Североуральский линеамент» ($M_{\max} = 5$ и $h = 10$ км), от которых зависят результаты расчета параметров максимальных сейсмических воздействий на исследуемые участки акваторий?

Можно получить значение магнитуды максимального возможного землетрясения, используя такой параметр зоны ВОЗ, как длина линеамента. Судя по схеме на рис. 2, она составляет 220 км. Используя формулу [29]:

$$\lg L = -4.09 + 0.82M_w, \quad (1)$$

где L — длина линеамента в км, M_w — моментная магнитуда по Канамори, получаем $M_{\max} = 7.9$.

Но если использовать формулу [32]:

$$M_w = 0.90 \lg L + 5.48, \quad (2)$$

где L и M_w — те же величины, получаем $M_{\max} = 7.6$.

В практике проектирования АЭС используется формула [20]:

$$M_w = 2 \lg L + 2, \quad (3)$$

Тогда получается, что при $L = 220$ км, $M_w = 6.7$.

Полученные оценки магнитуды сильно разнятся в зависимости от используемого соотношения, т.е. сделать оценки $M_{\max}$ по длине линеамента не представляется возможным.

Также непонятно, откуда была получена глубина очага максимально возможного здесь землетрясения $h = 10$ км. Судя по каталогу ГС РАН [19], глубина очагов немногочисленных землетрясений, происходящих в районе Печорского и Карского морей, определяются крайне ненадежно.

Дополнительные геолого-геофизические данные, необходимые для уточнения исходной сейсмичности на лицензионных участках Печорского моря и в Карском море, были получены в нескольких морских экспедициях Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, при этом были использованы следующие методы:

- среднечастотное высокоразрешающее сейсмическое профилирование (НСП) с использованием спаркера и сейсмокося;
- геологический пробоотбор донных осадков с помощью дночерпателя и геологической трубки.

ОПИСАНИЕ ПОЛУЧЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ И МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Краткое описание тектоники и геофизических полей исследуемого района. Согласно работе [18], Палеоуральский океан полностью закрылся, когда в его пределах образовывались постколлизийные граниты с возрастом 264 млн лет. Результатом этого процесса стало образование между Восточно-Европейской и Западно-Сибирской платформами шовной орогенной структуры (Полярный Урал, Пай-Хой, Новая Земля, полуостров Таймыр). Эта структура имеет разнонаправленные, иногда дугообразные вплоть до остроугольно ориентированных зоны складчатости, осложненные местами трансформными разломами. В это же время Баренцевоморско-Печорская литосферная плита была окончательно разделена на Свальбардскую (Баренцевоморскую), Печорскую и Северо-Карскую. Фундамент Южно-Карской плиты, которая является продолжением Западно-Сибирской платформы, сложен докембрийскими складчатыми образованиями и по строению напоминает Свальбардскую плиту. На это указывает, в частности, наличие участков коры субокеанического типа в ее пределах и устойчивый стиль прогибания, который характерен для относительно молодых платформ с пониженной мощностью литосферы. Именно островные дуги при сочленении друг с другом способны создавать подобные структуры. В настоящее время Южно-Карская плита представляет собой крупную синклиналь, выполненную в основном отложениями юры и мела и осложненными наложенными структурами коробления чехла [34].

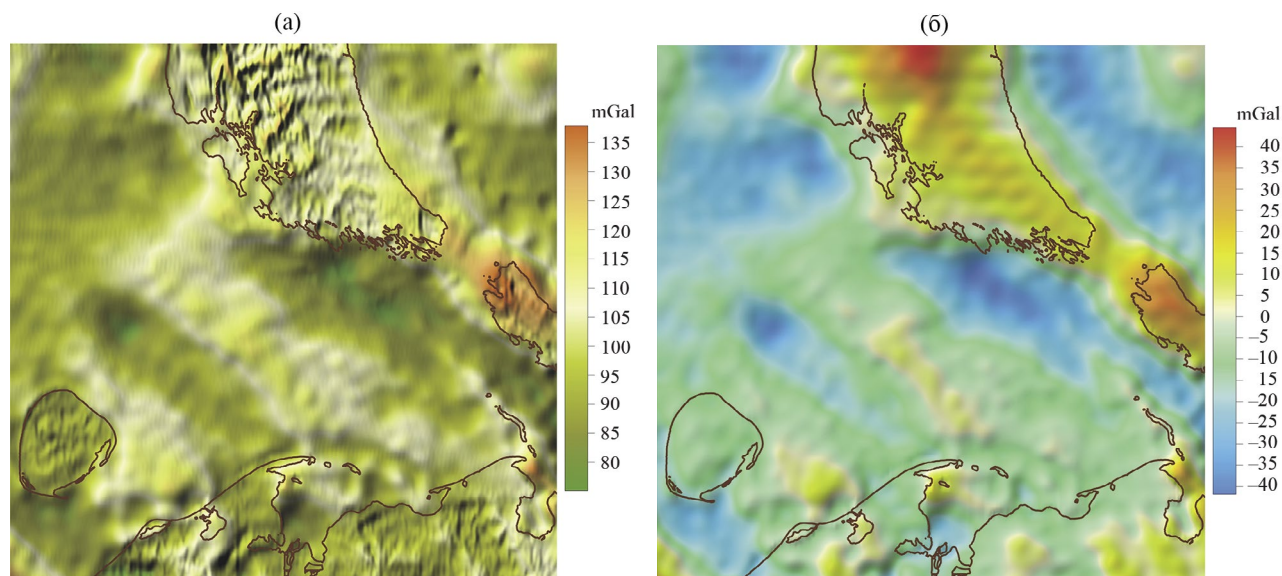


Рис. 3. Гравитационные аномалии в районе Печорского и Карского морей в редукциях Буге (а) и свободного воздуха (б) по данным [30]

Мощность земной коры Печорского моря и южной части Карского моря колеблется в пределах от 30 до 45 км [9, 18]. В акватории южной части Карского моря выделен по геофизическим данным участок с океанической корой.

Гравитационные аномалии исследуемого района в редукции Буге образуют линейчатые структуры, одна из которых приурочена к Североуральскому линеamentу в виде гравитационной ступени, имеющей амплитуду порядка $-40 - 50$ мГал (рис. 3). Эта ступень имеет продолжение на суше, протягиваясь до полярного Урала.

Разломная тектоника. Североуральский линеament имеет явно глубинную природу. Согласно [23], в эпохи тектонической разгрузки и разрушения прилегающей складчатой системы Североуральский линеament (Урал — архипелаг Новая Земля) являлся границей контрастных сред, вдоль которой должны были формироваться глубинные разрывные нарушения. Вдоль них происходило внедрение магматитов мантийного ряда (рис. 4). Связано это с тем, что изостатическое выравнивание блоков коры разного состава, плотности и удельного веса испытывают вертикальные перемещения с разной скоростью друг относительно друга, как это видно на рис. 5. Положение Североуральского линеamenta также приближено к границе древней зоны коллизии, которая происходила здесь в палеозое — раннем мезозое [34].

Данные о разломах в земной коре, которые сегментируют Североуральский линеament, приводятся в работе [3].

Положение этих разломов представлено на рис. 6.

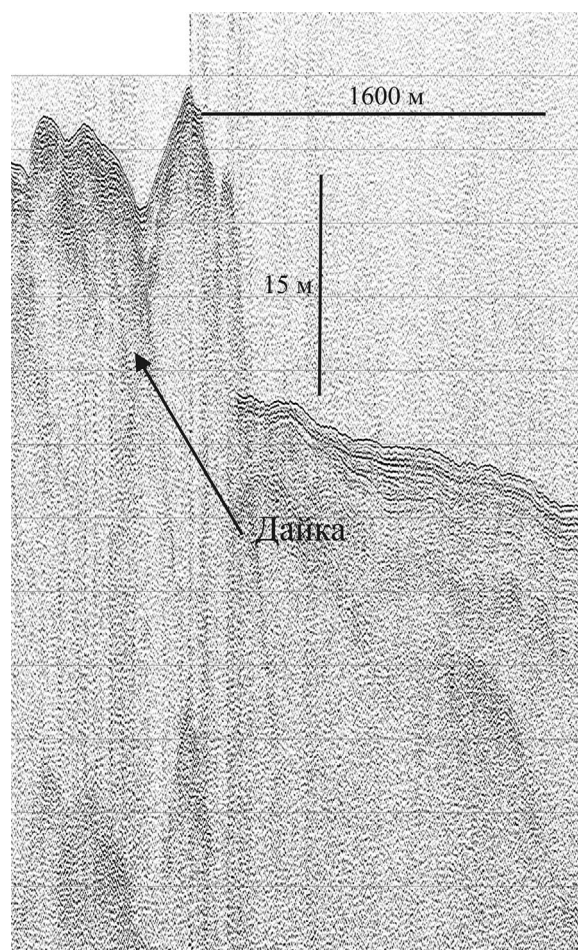


Рис. 4. Пример, демонстрирующий внедрение магматитов в осадки (дайка) в районе Североуральского линеamenta. Обнаружен на профиле НСП в Печорском море.

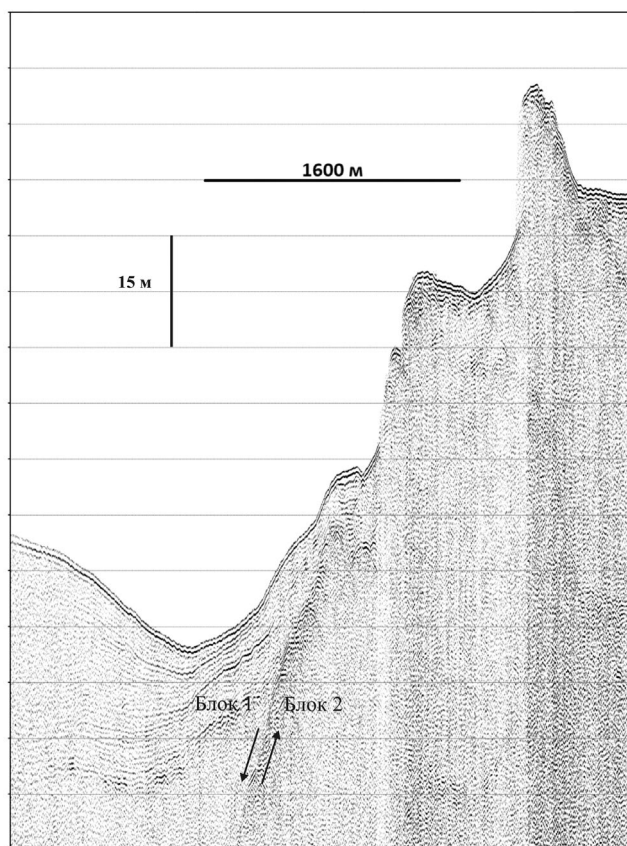


Рис. 5. Пример вертикального смещения разных блоков земной коры в районе Североуральского линеймента относительно друг друга. Обнаружен на профиле НСП в Печорском море.

Анализ пространственных производных карты рельефа Печорского моря. Морфометрические методы выделения разломов основываются на том, что многие крупные линейменты, как правило, заложены по глубинным разломам той или иной активности. Особенности глубинного строения фундамента проецируются на дневную поверхность через осадочный чехол, контролируя основную форму рельефа. Наиболее полно морфоструктурный план сформирован на неотектоническом этапе развития территории [10].

Применение дистанционного зондирования при наземных исследованиях показало, что линейменты, выраженные на поверхности, в значительной степени отражают нарушения структуры фундамента, даже перекрытого мощным осадочным чехлом. Сопоставление результатов дешифрирования с данными морфоструктурного анализа и геофизических наблюдений указывает на то, что трещины, разломы, блоки и межблоковые зоны могут быть выделены на основе статистических характеристик полей малых линейментов [7].

В морских условиях отсутствует возможность использовать данные дистанционного зондиро-

вания земной коры, а применение методов морфоструктурного анализа представляется весьма перспективным.

Для выделения разломов на цифровой модели рельефа (ЦМР) были применены методы морфометрического анализа рельефа: теневой анализ и выделение килевых форм рельефа дна. Поскольку осадочный чехол сглаживает проявление тектонической структуры на поверхности дна, были выделены предположительно дизъюнктивные дислокации (разломы) регионального масштаба, выраженные в изменении рельефа дна.

Для расчета морфометрических характеристик использовался фрагмент ЦМР дна Баренцева моря [14], дополненный данными ЦМР IBСАО по Карскому морю. Методика построения ЦМР Баренцева моря описана в работе [15].

Теневой анализ морфологии дна выполнялся визуальным путем по полутоновым изображениям (теневым картам) ЦМР дна с его условной подсветкой при разных азимутах и углах виртуального источника света. Участок дна изучаемой территории был рассмотрен при разных положениях условного источника света, чтобы все линейные элементы рельефа были отчетливо различимы. Методика проведения теневоего анализа хорошо проиллюстрирована в работе [27].

Выделение килевых форм рельефа дна проводилась после расчета профильной кривизны в программе Surfer, шаг сетки 2 км. На карте кривизны строились только предельные значения отрицательных форм кривизны (наибольший прогиб), по которым проводилось в настоящей работе ручное выделение возможных разломов (см. рис. 6).

Полученные двумя методами линии разломов были нанесены на карту рельефа. Сопоставление результатов показало, что в основном они подобны. На сводную карту (см. рис. 6) были вынесены линии разломов, полученные по расчету килевых форм рельефа.

Все расчеты и построения линий возможных разломов морфометрическими методами выполнялись при помощи программного комплекса Surfer.

Результаты обработки и интерпретация данных непрерывного сейсмического профилирования. Непрерывное сейсмическое профилирование (НСП) в рейсах НИС «Академик Николай Стрехов» и НИС «Академик Борис Петров» выполнялось на нескольких локальных полигонах.

В данном методе использовалась сейсмическая коса (одноканальная) длиной 12 м и электрический разрядник типа Спаркер. Электрическая энергия, подаваемая на Спаркер, составляла 600 Дж.

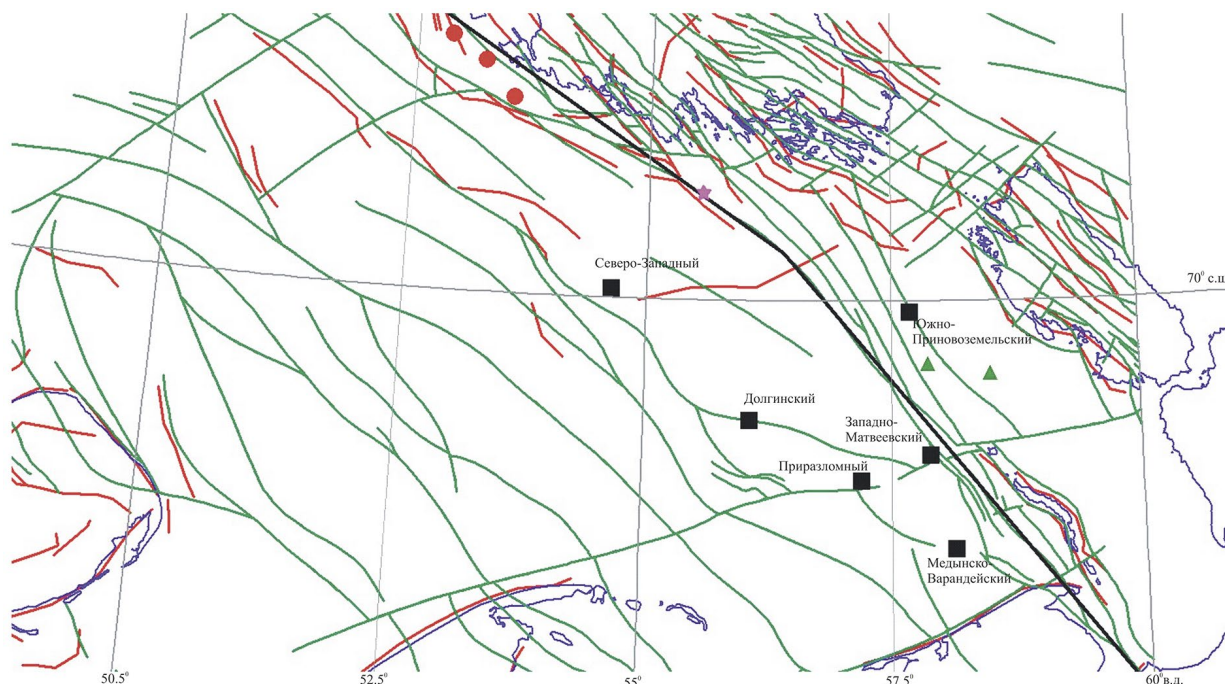


Рис. 6. Положение разломов северо-восточного шельфа Печорского моря, из работы [3]. Красные кружки — эпицентры тектонических землетрясений, индуцированных ядерным взрывом на архипелаге Новая Земля, по данным Геологической службы США [35], черные квадратики — нефтегазовые месторождения, зеленые линии — разломы, по данным [3], красные линии — разломы, по данным линейного анализа, черная линия — Североуральский линеймент, сиреневая звездочка — положение обнаруженной палеосейсмодислокации.

Излучения производились с периодичностью 1 с. Продолжительность регистрации составляла 500 мс и выполнялась 24 разрядным аналого-цифровым регистратором. Максимум спектра излучения приходился на частоту 650 Гц. Скорость буксировки косы составляла 7 узлов, поэтому разрешающая способность метода по горизонтали достигала 3.5 м. По вертикали при доминирующей частоте 650 Гц разрешающая способность приближалась к 1.5 м. Файлы сейсмических профилей сохранялись в формате sgu, в заголовки которых вносились данные о географических координатах судна на профиле в каждый момент излучения.

Граф обработки сейсмических профилей с помощью программы RadExPro содержал следующие процедуры:

1. Ввод данных sgu-файла в базу данных.
2. Автоматическая регулировка усиления.
3. Предсказательная деконволюция.
4. Полосовая фильтрация.
5. Отображение на экране дисплея.

В результате обработки сейсмических профилей получались сейсмические разрезы, показанные на рисунках 4, 5 и 7.

На профиле НСП (см. рис. 7) выделяется дислокация (возможно палеосейсмодислокация в соответствии с [22]) на временах 84–86 мс, что соответствует глубине порядка 63 м от поверхности моря и порядка 15 м от морского дна. Возможная палеосейсмодислокация представлена в виде ступеньки (разлома), смещающей границу между слоями осадочных пород в четвертичных отложениях на величину порядка 5 м.

Разрез (см. рис. 7) расположен на юго-западном обрамлении Вашуткино-Талотинской складчато-надвиговой системы и Варандейско-Гуляевского блока.

Согласно работе [28], основными признаками наличия разлома в донных осадках являются:

- 1) смещение осей синфазности;
- 2) дифракция;
- 3) изменение наклонов осей синфазности.

Все это в разной степени наблюдается на рис. 7 вблизи дислокации.

Естественно, по мере накопления осадков над дислокацией признаки сброса (уступа) сглаживаются и все менее и менее выражаются в рельефе. Это и наблюдается на профиле, представленном на рис. 7.

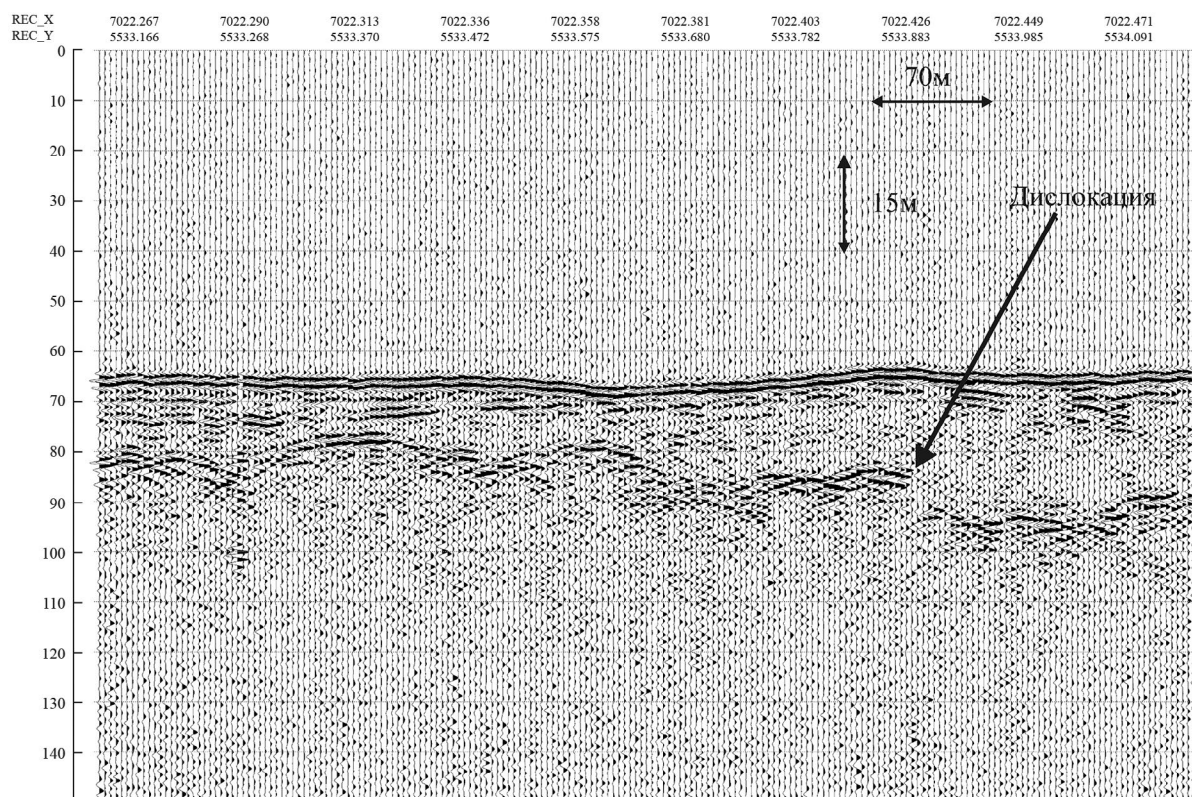


Рис. 7. Сейсмический разрез, полученный методом НСП, на котором показана палеосейсмодислокация, нарушающая кровлю слоя четвертичных осадков под дном Печорского моря (дислокация). Положение палеосейсмодислокации в плане показано на рис. 6.

На наличие погребенного разлома здесь также указывает небольшое возвышение морского дна над вышеуказанной ступенькой (см. рис. 7). Разлом образовался в четвертичное время, а, возможно, даже в голоценовое время, если учитывать большие скорости накопления осадков в акватории Печорского моря. Это указывает на его современную активность.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применявшиеся морфометрические методы выделения линеаментов позволяют, используя только данные батиметрии в виде ЦМР, провести предварительное выделение разломов, проявленных в рельефе дна без данных геолого-геофизических исследований района. Сопоставление карты разломов выделенных по ЦМР с данными [3] показало хорошую корреляцию в районе сильной изменчивости рельефа дна, в частности у побережья Южного острова архипелага Новой Земли, в проливе Карские ворота. Соответственно, в районе слабовыраженных изменений рельефа южной части Печорского моря выделено мало разломов, и корреляция с данными [3] практически отсутствует.

Морфометрические методы анализа рельефа дна пока мало используются, в отличие от наземных условий, где они нашли широкое применение с развитием цифровых методов обработки данных. В данной работе присутствует ручное выделение разломов на основе интерпретации морфометрических характеристик (килевых форм), это может приводить к пропуску или ошибочному выделению разломов. Методика выделения разломов по данным рельефа дна пока находится в стадии разработки. Это был первый опыт, показавший перспективность этого направления и пути дальнейших исследований.

Используя формулу А.А. Никонова [16], связывающую магнитуду древнего землетрясения с величиной смещения по разрыву слоев (амплитуда сейсмодислокации):

$$M = 5.43 + 0.9 \lg D, \quad (4)$$

где M — магнитуда землетрясения, а D — смещение по разрыву (в см), получаем $M = 7.93$, что близко к значению магнитуды, полученному с помощью формулы (1).

Если использовать соотношение из работы [11]:

$$M = 6.93 + 0.82 \lg D, \quad (5)$$

где D — смещение по разрыву (в м), получаем значение $M = 7.5$, т.е. тоже значение магнитуды, существенно превышающее $M = 5$ из работы [17].

Таким образом, сделанные в работе [13] оценки величин сейсмических воздействий для нефтегазовых объектов Печорского моря необходимо пересмотреть, учитывая новые данные о максимальных землетрясениях, происходивших в древности в исследуемом районе. Новые данные о сейсмических воздействиях с учетом этих значений M приводятся в таблице.

Кроме того, основной вывод, который необходимо сделать по результатам настоящей работы, сводится к следующему предложению. При выполнении морских инженерных изысканий необходимо выполнять сейсмические исследования в радиусе 50–100 км от исследуемых площадок, отведенных под строительство морских сооружений.

Эти работы необходимо выполнять в районах акватории, где предполагается наличие активных разломов в земной коре. Работы по сейсмическому профилированию высокого разрешения должны быть, прежде всего, нацелены на поиск палеосейсмодислокаций (смещений границ между слоями четвертичных осадков). Подобные работы выполняются на суше и носят название трэнчинг (рытье длинных и глубоких канав и поиск на их стенках смещений границ между слоями грунта). На суше это весьма дорогой и трудоемкий метод.

Обнаружение палеосейсмодислокаций позволяет решить две задачи, связанные с оценкой сейсмической опасности исследуемых районов. Прежде всего, определение параметров смещения границ в осадочной толще позволяет сделать оценки амплитуды сейсмических воздействий

в данном месте от происходивших здесь древних землетрясений и с их помощью определить магнитуду максимальных возможных здесь землетрясений $M_{\max}$. Кроме того, оценка времени возникновения палеосейсмодислокации позволяет уточнить параметры графика повторяемости землетрясений, необходимого для выполнения вероятностного анализа сейсмической опасности.

Источники финансирования. Работа выполнена в рамках государственного задания № FMWE-2021-0005 (получение данных) и гранта Российского научного фонда 23-17-00125 (разработка методов интерпретации данных).

Благодарности. Авторы благодарят научных сотрудников геологического факультета МГУ Рослякова А.Г. и Старовойтова А.В. за консультации и советы, полученные от них в процессе выполнения настоящей работы, а также экипажи НИС «Академик Николай Страхов» и НИС «Академик Борис Петров».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аветисов Г.П., Зинченко А.Г., Мусатов Е.Е., Пискарев А.Л. Сейсмическое районирование Арктического региона // Российская Арктика: геологическая история, минералогия, геоэкология / Под ред. А.А. Додина, В.С. Суркова. СПб.: изд-во ВНИИОкеангеологии, 2002. С. 162–175.
2. Ассиновская Б.А., Соловьев С.Л. Опыт выделения и характеристики зон возможных очагов землетрясений в Баренцевом море // Физика Земли. 1993. № 2. С. 23–37.
3. Вискунова К.Г., Зархидзе В.С., Зинченко А.Г. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (новая серия). Лист R-38-40 — о. Колгуев. Объяснительная записка. СПб.: Изд-во СПб картфабрики ВСЕГЕИ, 2003. 289 с.
4. Казанцев Ю.В., Казанцева Т.Т., Камалетдинов М.А. и др. Первая тектоносейсмическая карта Восточного Башкортостана. Уфа: Гилем, 1995. 44 с.

Таблица. Максимальные сейсмические воздействия в баллах шкалы MSK-64 для месторождений Печорского моря

№	Название участка	Широта, с.ш.	Долгота, в.д.	Расстояние, км	I , баллы при $M = 5$ [13]	I , баллы при $M = 7.6$
1	Долгинский	69.58	56.07	52	5	8.2
2	Северо-Западный	70.03	54.64	50.5	5.5	8.2
3	Приразломный	69.37	57.2	36	5	8.6
4	Западно-Матвеевский	69.46	57.89	5.4	6	9.2
5	Медынско-Варандейский	69.13	58.13	26	5	8.8
6	Южно-Приновоземельский	69.96	57.69	24	>7	8.9

5. Ковачев С.А., Кузин И.П., Лобковский Л.И. Морские сейсмологические наблюдения в районе Центральных Курил перед катастрофическими землетрясениями в ноябре 2006 г. ($M = 8.3$) и январе 2007 г. ($M = 8.1$) // Физика Земли. 2009. № 9. С. 48–65.
6. Ковачев С.А., Кузин И.П., Соловьев С.Л. Кратковременное изучение микросейсмичности губы Буор-Хая, море Лаптевых, с помощью донных сейсмографов // Физика Земли. 1994. № 7–8. С. 65–76.
7. Кочарян Г.Г. Геомеханика разломов. М.: ГЕОС, 2016. 424 с.
8. Куликов Е.А., Иващенко А.И., Яковенко О.И. и др. К вопросу о цунамиопасности арктического региона // Арктика: экология и экономика. 2016. № 3 (23). С. 38–49.
9. Левашкевич В.Г. Закономерности распределения геотермического поля окраин Восточно-Европейской платформы (Баренцевоморский и Белорусско-Прибалтийский регионы). Автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук. М.: МГУ, 2005. 42 с.
10. Лопатин Д.В., Лукутов Е.Ю. Структурная и поисковая геоморфология. Тюмень: Изд-во Тюменского государственного университета, 2018. 272 с.
11. Мак-Калтин Д.П. Применение палеосейсмологических данных при оценке сейсмической опасности и неотектонических исследованиях // Палеосейсмология. Т. 2. / Под ред. Д.П. Мак-Каплина. М.: Научный мир, 2011. С. 237–378.
12. Миндель И.Г., Трифонов Б.А., Кауркин М.Д., Несынов В.В. Оценка исходных сейсмических воздействий для северной части шельфа Баренцева моря (р-н Новой Земли) для решения задач сейсмического микрорайонирования территорий освоения перспективных участков добычи углеводородов // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геоэкология. 2019. № 2. С. 38–47.
13. Миронюк С.Г., Ковачев С.А., Горбачев С.В. Нормативные требования к оценке исходной сейсмичности на шельфе Печорского моря и опыт ее уточнения детерминистским методом // Инженерные изыскания. 2021. Т. 15. № 3–4. С. 42–53.
14. Никифоров С.Л., Попов О.Е., Попов В.А., Селезнев И.А. Концепция создания единой базы геоакустических данных морского дна и технологии геоакустического моделирования // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2010. № 6. С. 25–32.
15. Никифоров С.Л., Кошель С.М., Фроль В.В. Цифровая модель рельефа дна Белого моря // Вестник Московского университета. Сер. 5. География. 2012. № 3. С. 86–92.
16. Никонов А.А. Современные сеймотектонические дислокации в горных районах Средней Азии // ДАН СССР. 1975. Т. 222. № 1. С. 79–82.
17. Новейшая тектоника, геодинамика и сейсмичность Северной Евразии / Под ред. А.Ф. Грачева М.: Пробел, 2000. 487 с.
18. Объяснительная записка к тектонической карте Баренцева моря и северной части Европейской России масштаба 1:2 500 000 / Под ред. Н.А. Богданова, В.Е. Хаина. М.: Ин-т литосферы окраин. и внутр. морей РАН, 1996. 94 с.
19. Официальный сайт Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук», 2021. Информация Службы срочных донесений. URL: <http://www.ceme.gsras.ru/new/ssd.htm> (дата обращения: 20.05.2021).
20. РБ-019-01. РУКОВОДСТВО ПО БЕЗОПАСНОСТИ. Оценка сейсмической опасности участков размещения ядерно- и радиационно опасных объектов на основании геодинамических данных. Федеральный надзор России по ядерной и радиационной безопасности (Госатомнадзор России). Утверждена постановлением Госатомнадзора России от 28 декабря 2001 г. № 16. Введено в действие с 1 марта 2002 г.
21. Соловьев С.Л., Ковачев С.А., Мишарина Л.А., Уфимцев Г.Ф. Сейсмоактивность поперечных нарушений в Ольхоно-Святоносской зоне озера Байкал // Докл. АН СССР. 1989. Т. 309. № 1. С. 61–64.
22. Солоненко В.П. Землетрясения и рельеф // Геоморфология. 1973. № 4. С. 3–13.
23. Сорохтин Н.О., Лобковский Л.И., Никифоров С.Л., Козлов Н.Е. Геодинамическая эволюция нефтегазоносных бассейнов Карско-Баренцевоморского шельфа России // Арктика: экология и экономика. 2015. № 2 (18). С. 14–25.
24. Стром А.Л. О противоречиях нормативной базы, регламентирующей проектирование объектов нефтегазового комплекса, расположенных в сейсмоопасных регионах, и о путях ее совершенствования // Инженерные изыскания. 2015. № 2. С. 12–15.
25. Уломов В.И. и др. Комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации ОСР -2016. Пояснительная записка и список городов и населенных пунктов, расположенных в сейсмоопасных районах // Инженерные изыскания. 2016. № 7. С. 49–60.
26. Уломов В.И., Шумилина Л.С. Комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации — ОСР-97. М. 1:8 000 000: Объяснительная записка и список городов и населенных пунктов, расположенных в сейсмоопасных районах. М.: ОИФЗ РАН, 1999. 57 с.
27. Устинов С.А., Петров В.А. Использование детальных цифровых моделей рельефа для структурно-линеamentного анализа (на примере Уртуйского гранитного массива, ЮВ Забайкалье) // Геоинформатика. 2016. № 2. С. 51–60.
28. Шалаева Н.В., Старовойтов А.В. Основы сейсмоакустики на мелководных акваториях. Учебное пособие. М.: Изд-во МГУ, 2010. 256 с.
29. Ambraseys N.N., Simpson K.A., Bommer J.J. Prediction of horizontal response spectra in Europe // Earthquake

- Engineering and Structural Dynamics. 1996. V. 25(4). P. 371–400.
30. BGI. Bureau Gravimetric International. URL: <https://bgi.obs-mip.fr/data-products/grids-and-models/wgm2012-global-model/>. Дата обращения 12.09.2022.
31. Kovachev S.A., Kuzin I.P., Soloviev S.L. Microseismicity of the frontal Hellenic arc according to OBS observations // Tectonophysics. 1992. V. 201. № 3–4. P. 317–327.
32. Pavlides S., Caputo R. Magnitude versus faults' surface parameters: Quantitative relationships from the Aegean Region // Tectonophysics. 2004. V. 380. Is. 3–4. P. 159–188.
33. Soloviev S.L., Kuzin I.P., Kovachev S.A. et al. Microearthquakes in the Tyrrhenian Sea as revealed by joint land and sea-bottom seismographs // Marine Geology. 1990. V. 94. № 1–2. P. 131–146.
34. Sorokhtin N.O., Kozlov N.E. Geodynamic Evolution of the Western Part of the Russian Arctic and Its Diamond Potential // Oceanology. 2021. V. 61. № 6. P. 977–993.
35. USGS. Search Earthquake Catalog. URL: <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>

ASSESSMENT OF INITIAL SEISMICITY FOR OFFSHORE PLATFORMS ON THE EXAMPLE OF THE PECHORA SEA

S. A. Kovachev*, N. V. Libina

Shirshov Institute of Oceanology of RAS, Moscow, Russia

**e-mail: kovachev@ocean.ru*

Seismotectonic and seismoacoustic studies carried out during the expedition onboard the R/V "Akademik Boris Petrov" in the Pechora Sea revealed a paleoseismodislocation confined to a fault zone tracing the Severoural seismic lineament. The amplitude of this dislocation (the relative displacement of its sides) makes it possible to estimate the magnitude of the ancient earthquake that occurred within the Severoural lineament. Using the value of this magnitude, estimates were made of the maximum seismic impacts on offshore oil and gas facilities that are already in operation and are being designed for construction in the northeastern part of the Pechora Sea. These assessments of essential images differ in a big way from similar assessments made earlier. The method of searching for paleoseismic dislocations using seismoacoustic methods, as well as lineament analysis, can be used to assess the initial seismic impacts in water areas.

Keywords: Pechora Sea, faults, lineament analysis, seismoacoustic methods, paleoseismodislocation, seismic hazard