

## СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИЕ АНОМАЛИИ В ОСАДОЧНОМ ЧЕХЛЕ ЗАПАДНЫХ МОРЕЙ РОССИИ

Путанс В.А.<sup>1</sup>, Левченко О.В.<sup>1</sup>, Мерклин Л.Р.<sup>1,2</sup>, Плешков А.Ю.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБУ Институт океанологии им. П.П.Ширшова РАН, Москва, Россия (11997, Нахимовский пр-т, 36), e-mail: [vitanu@ocean.ru](mailto:vitanu@ocean.ru)

<sup>2</sup>ООО Морские инновации Москва, Россия (11997, Нахимовский пр-т, 36)

Сейсмоакустика – направление малоглубинной сейсмологии, в котором используются акустические волны на более высоких частотах, чем в «большой сейсмологии». Растущая антропогенная нагрузка, связанная с освоением шельфовых месторождений, неизбежно оказывает негативное влияние на окружающую среду, которая в свою очередь может в любой момент среагировать на вмешательство каким-нибудь катастрофическим событием. Прогноз георисков напрямую связан с интерпретацией геолого-геофизических данных, на акваториях ведущую роль играет сейсмоакустика. Анализ волнового поля сейсмоакустических профилей и его аномалий помогает обнаруживать потенциально опасные участки морского дна с высокой степенью достоверности. Например, проблема газонасыщенных осадков и просачивания газа актуальна как для фундаментальной науки (климатология, экология, океанический литогенез и т.п.), так и для прикладных изысканий при промышленном освоении шельфа (безопасная эксплуатация инженерных сооружений). В статье приводятся примеры записей, полученных в западных морях России вблизи разведанных месторождений углеводородов.

Ключевые слова: сейсмоакустика, геориски, освоение ресурсов шельфа, Чёрное море, Каспийское море, Карское море, Баренцево море, Балтийское море

## SEISMOACOUSTICAL ANOMALIES WITHIN SEDIMENT COVER OF THE WESTERN RUSSIAN SEAS

Putans V.A.<sup>1</sup>, Levchenko O.V.<sup>1</sup>, Merklin L.R.<sup>1,2</sup>, Pleshkov A.Y.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>P.P.Shirshov Institute of Oceanology, RAS, Moscow, Russia (11997, Nakhimovskiy prospekt, 36), e-mail: [vitanu@ocean.ru](mailto:vitanu@ocean.ru)

<sup>2</sup>Marine Innovation Inc., Moscow, Russia (11997, Nakhimovskiy prospekt, 36)

Seismoacoustics is branch of shallow seismics using high frequencies acoustic waves. Strong anthropogenic pressure due to exploration of shelf resources, impacts environment negatively and can cause its response in terms of catastrophe. Forecasting geohazards is based on analysis of geological and geophysical data, especially seismoacoustic one. Analysis of acoustic field anomalies can help in revealing possible geohazards area with high reliability. For example, problem of gas-saturated sediments and gas seeping is of great importance both for academia (climatology, ecology, ocean lithogenesis etc) and applied investigations for shelf exploration (safe exploitation of well constructions). The paper presents several examples of data from western Russian seas from nearby of proved hydrocarbon fields.

Keywords: seismoacoustics, geohazards, shelf development and exploration, Black Sea, Caspian Sea, Kara Sea, Barents Sea, Baltic Sea

### Введение

Аномалия (в науке) — познавательная ситуация, при которой результаты наблюдений и экспериментов противоречат общепринятым теоретическим представлениям или не совпадают с предсказаниями, сделанными на основе таких представлений.

В настоящее время интенсивно осваиваются ресурсы западных морей России – Балтийского, Баренцева, Карского, Черного и Каспийского. Растущая антропогенная нагрузка неизбежно оказывает негативное влияние на окружающую среду, которая в свою очередь может в любой момент среагировать на такое вмешательство каким-нибудь катастрофическим

событием. В связи с этим, в последние годы в инженерной геологии появилось такое понятие, как геориски.

Геориски - геологическая ситуация, которая представляет опасность сейчас, либо может стать причиной ущерба в будущем. Прогноз георисков напрямую связан с интерпретацией геолого-геофизических данных, на акваториях ведущую роль играет сеймоакустика. Анализ волнового поля сейсмоакустических профилей и его аномалий помогает обнаруживать потенциально опасные участки морского дна с высокой степенью достоверности [6, 7].

### **Цели и методы исследования**

Сейсморазведка – главный и наиболее результативный геофизический метод в исследовании строения земной коры. Если ранее её основной задачей считалось изучение и картирование структурных особенностей осадочного чехла, то в последние годы возникла необходимость в определении внутренней структуры геологической среды, её конкретных физических параметров и свойств. Частично для решения подобных задач, и была создана сейсмостратиграфия. В её основе лежит как возрастная привязка отражающих горизонтов, так и анализ сеймофаций осадочного разреза.

Фашия в классической геологии – некий объём осадочной горной породы, облик и характер залегания которого дают информацию об условиях образования (условиях осадконакопления) этого объёма. По аналогии, сеймофашия - определённый рисунок или тип сейсмозаписи, характерный для осадков, образовавшихся в определённых условиях осадконакопления. При районировании сейсмического волнового поля не всегда имеется прямая геологическая информация, полученная при бурении скважин. В первом приближении можно использовать косвенную информацию, получаемую из анализа сейсмоакустических профилей; достаточно классифицировать волновую картину по характерным особенностям записи (прозрачность, шероховатость, слоистость, наличие «тени», увеличение амплитуды и т.д.) на некоторых участках, присвоить им номер класса и затем отыскивать аналогичные фрагменты волновой картины [1].

Сейсмоакустика – направление малоглубинной сейсмики, в котором используются акустические волны на более высоких частотах (килогерцы), чем в «большой сейсмике» (десятки–сотни герц). Сейсмоакустический временной разрез даёт информацию только о самой верхней части осадочной толщи (не глубже 150м под уровнем дна), и при этом вертикальное разрешение увеличивается до первых метров-десятков сантиметров. При использовании узколучевых сейсмоакустических профилографов увеличивается и горизонтальная разрешающая способность до 1 – 3 угловых градусов. Именно такие пространственно высокоразрешающие данные особенно востребованы в инженерно-геологических изысканиях на шельфе.

Институтом океанологии им. П.П.Ширшова РАН, в том числе совместно с ООО «Морские инновации», проводятся исследования как в рамках чисто научных программ, так и по проектам, связанным с созданием новой техники и технологий для освоения шельфа (проекты Минобрнауки и Минпромторга) и с промышленным освоением ресурсного потенциала дна акваторий Российской Федерации. Используемые для анализа сейсмоакустические профили получены с помощью новейшей высокоточной аппаратуры (таб.1):

**Таблица №1**

**Параметры высокоразрешающего сейсмоакустического оборудования**

<b>Прибор (излучатель)</b>	<b>Описание</b>	<b>Частота (кГц)</b>	<b>Глубина проникнове- ния сигнала</b>	<b>Вертикальное разрешение</b>
Геонт-Шельф (спаркер - буксируемый)	Сейсмоакустический комплекс (импульсный сигнал)	0.2-0.7	50м – 300м	2-3м
SES – 2000 (прямоугольная мозаичная пьезо- керамическая антенна – на штанге)	Эхолот+сейсмоакустический профилограф (тоновый сигнал)	100 4-12	до 50м	0.05-0.15м
PARASOUND (днищевая мозаичная пьезо- керамическая антенна)	Эхолот+сейсмоакустический профилограф (тоновый сигнал)	25 2.5-5.5	до 100м	0.5-1,0м
CHIRP-II (4х-элементный пьезокерамичес- кий излучатель – буксируемый)	Сейсмоакустический профилограф (свип-сигнал)	2-7 kHz	2м – 50м	0.2-0.5м

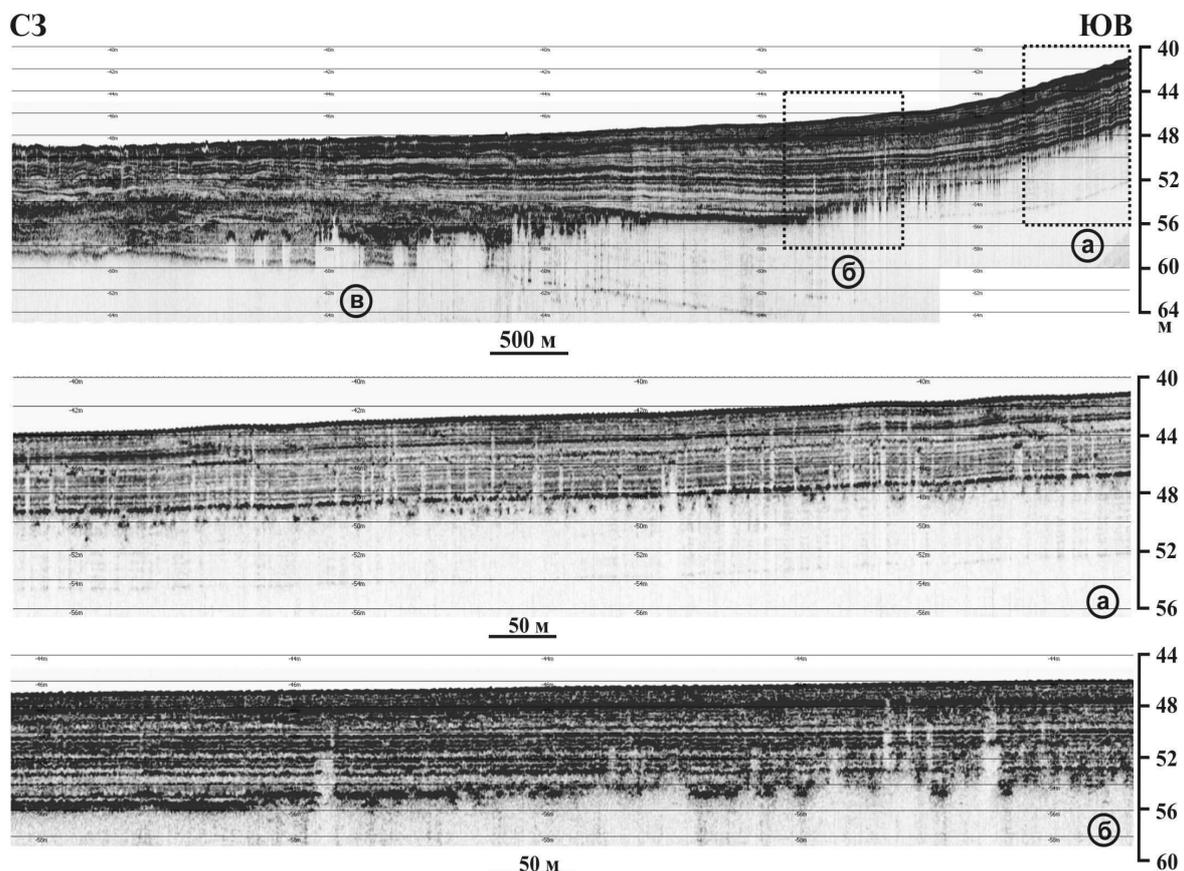
Обработка сейсмоакустических данных осуществлялась в специализированных программных пакетах RadExPro 2012.3, ISE 3.2 и ChirpII. Для интерпретации применялся программный пакет Kingdom Suite 2d/3d, карты строились в Surfer 9. Отбор проб осуществлялся гравитационным пробоотборником с диаметром 15см длиной 3-8м, для отбора проб с поверхности (0–5 см) использовался малый пневматический дночерпатель.

**Результаты исследований и их обсуждение**

На высокоразрешающих профилях SES в *Чёрном море*, осадочный разрез визуально неоднородный и по видимому акустическому отображению разделяется на две толщи, разделенные четкой отражающей границей (рис. 1). При этом сильные рефлексоры коррелируются с плотными ракушечными слоями регрессивных стадий, тогда как прозрачные прослои соответствуют тонкозернистым илам трансгрессий [5]. Особый интерес

представляют участки, где все отражающие границы внутри стратифицированных отложений резко обрываются на границе очень сильного рефлятора, под которым нет никаких отражений (акустическая тень). Такой вид акустических аномалий характерен для газонасыщенных осадков [8]. Сильная отражающая площадка в кровле аномалий является своеобразным экраном, препятствующим распространению высокочастотного акустического сигнала. Она связана с естественной литологической (глина) покрывкой, «запечатывающей» сверху трещину, по которой газ мигрирует вверх по осадочному разрезу. Газ накапливается, создает резкий скачок акустического импеданса и, как следствие, сильный коэффициент отражения.

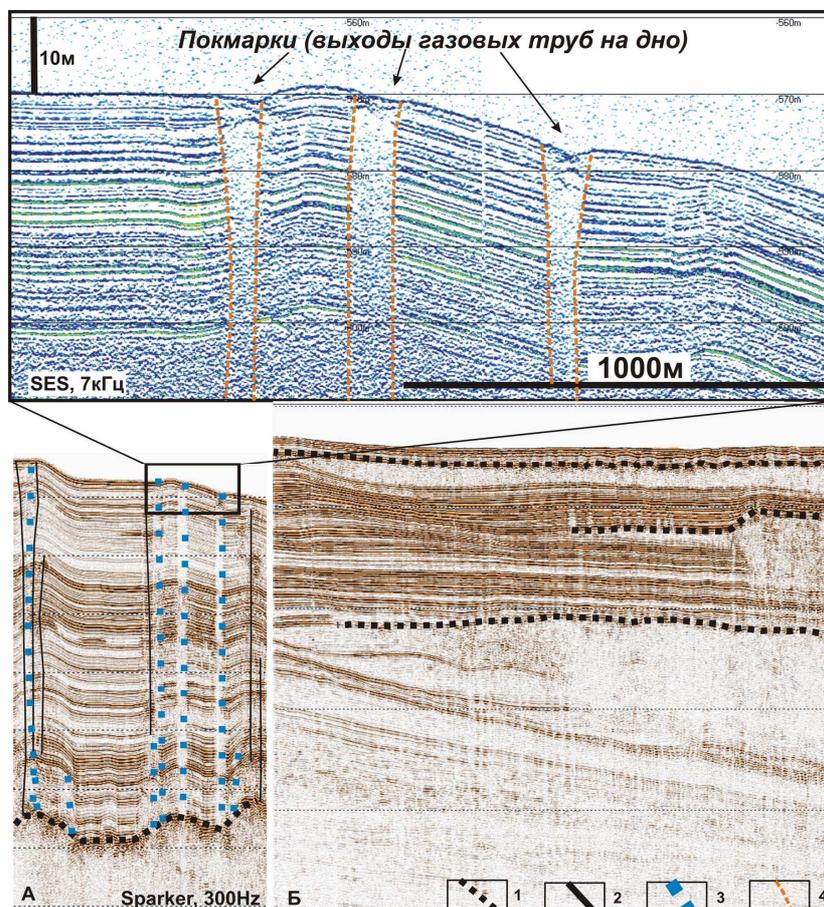
Один из самых интересных типов аномалий – вертикальные зоны рассеивания. На рис.1 хорошо заметны серии узких вертикальных полос шириной несколько метров, которые распространяются практически по всему разрезу, близко приближаясь к поверхности дна.



**Рисунок 1.** Профили «SES-2000 light plus» на северо-восточном Кавказском шельфе в районе Геленджика, НИС «Ашамба», Чёрное море, 2013 г. (по [5]).

Очень похожая картина наблюдается и в *Каспийском море*, но там зоны рассеивания выходят на поверхность дна, образуя покмарки (рис.2). Акустические факелы в водной толще, однако, не наблюдаются (пример такого факела см. на рис.5). Зато горизонтальные зоны, на которых происходит сильное рассеивание и дифракция сигнала, существуют на нескольких

уровнях разреза, постепенно вырождаясь в слои с отдельными «яркими пятнами». Всё это свидетельствует об активном газовыделении по мелким разрывным нарушениям и ослабленным слоям.

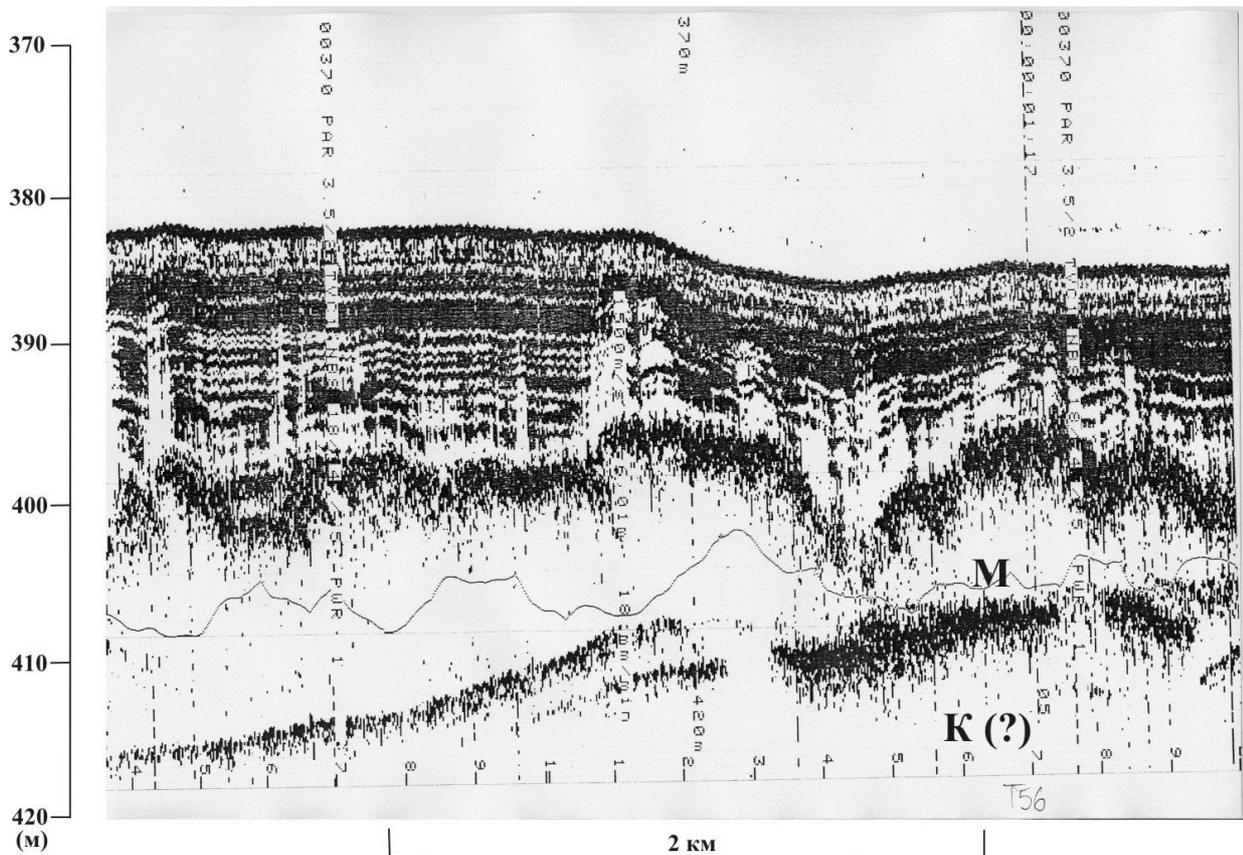


**Рисунок 2.** Газовые трубы и горизонтальная акустическая аномалия в Каспийском море, НИС «Рифт» (вверху – профиль SES-2000-standard, внизу – данные одноканального сейсмопрофилирования). 1 – кровля нарушенного горизонта, 2 – разломы, 3, 4 – газовые трубы (по [7] с дополнениями).

Похожие аномалии выделяются в *Баренцевом море* (рис.3). Однако, учитывая особенности осадконакопления в Западно-Арктическом регионе, интерпретация акустически прозрачных записей здесь становится неоднозначной. Подобные аномалии могли образоваться как в результате дегазации распадающейся вечной мерзлоты, так и в результате простого рассеяния на грубых осадках моренной толщи [3, 4, 9].

Вечная мерзлота вносит существенный вклад в волновую картину сейсмоакустических профилей в арктических морях. В результате циклических чередований холодных ледниковых периодов и теплых межледниковий, осадки на шельфе арктических морей периодически промерзали и оттаивали. Во время регрессий в субэаральных условиях образовывалась палеомерзлота, которая деградировала при последующих трансгрессиях, что

приводило к развитию термокарста. Криолитогенетические изменения в морских осадках под воздействием



**Рисунок 3.** Акустический разрез, полученный профилографом PARASOUND, НИС «Академик Сергей Вавилов», Баренцево море. К – акустический фундамент мелового возраста, М – моренная фация (по [9]).

низких температур обуславливают сложную волновую картину сейсмоакустических записей. На таких участках наблюдается хаотический «крапчатый» рисунок записи с множеством пересекающихся искривленных осей синфазности и дифрагированных волн от разномасштабных неоднородностей. Местами горизонтально-слоистая структура осадков здесь резко сменяется зонами потери корреляции или акустически прозрачными зонами. Так, на приведённом разрезе в *Карском море* (рис.4) наблюдаются протяженные высокоамплитудные границы на глубине от 1—2 м до 10 метров от дна, а ниже них – стандартный для небольших глубин моря рисунок в виде хаотических отражений без выраженных рефлекторов. Появление регулярных продолжительных рефлекторов на глубинах до 100м многие исследователи связывают с границей многолетнемерзлых пород [2]. В то же время, на профилях встречаются типичные для газонасыщенных осадков «яркие пятна».

### **Заключение**



поднимаются вверх вплоть до морского дна. При этом внутри морских осадков и в поверхности морского дна наблюдаются характерные акустические аномалии и морфоструктуры (покмарки). По ряду таких признаков высокоразрешающая сейсмоакустика позволяет идентифицировать газонасыщенные осадки ниже морского дна. Можно предположить, что они будут наблюдаться в областях развития субмаринных газогидратов и могут являться одним из поисковых признаков газогидратных залежей.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы» (Госконтракт № 14.515.11.0050, 2013г.), а также при поддержке гранта РФФИ 12-05-31302 мол\_а.*

### Список литературы

1. Ампилов Ю.П. Сейсмическая интерпретация: опыт и проблемы. М.: Геоинформмарк. 2004. 286 с.
2. Геолого-геофизические исследования в 59-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» (Карское море)// Экспедиционные исследования ВНИИ Океангеология в 2010-2011 гг. - под ред. Г.А.Черкашёва - СПб., ФГУП ВНИИОкеангеология им.И.С.Грамберга. 2012. С.26-36.
3. Левченко О.В., Мерклин Л.Р. Признаки газонасыщенных и мерзлых осадков на записях высокоразрешающей сейсмоакустики в западной части Российского Арктического шельфа // Тез.докл. межд. конф. «Консервация и трансформация вещества и энергии в криосфере Земли» - Пушино. 2001 - С.65-66
4. Левченко О.В., Мерклин Л.Р. Глава 14. Сейсмостратиграфия. В кн.: Печорское море. Системные исследования. (Ред. Е.А.Романкевич, А.П.Лисицин, М.Е.Виноградов). 2003. М.: Море. С. 321-354
5. Левченко О.В., Лобковский Л.И., Мерклин Л.Р., Ананьев Р.А., Дмитриевский Н.Н., Плешков А.Ю., Рогинский К.А. Новые результаты сейсмоакустического картирования донных осадков черноморского шельфа// Доклады АН. Сер. Океанология, 2013 (в печати)
6. Мерклин Л.Р., Левченко О.В., Путанс В.А. Осадочные волны, гравитационные оползни и подводные каньоны на дне Каспийского моря и их потенциальное воздействие на транскаспийские трубопроводы // Трубопроводы России (теория и практика) – 2009. 2 (14) - с.32-35
7. Путанс В.А. Инженерно-геологические особенности освоения акватории Каспийского моря (Северный и Средний Каспий) // Бурение и нефть – 2012.11. с.20-22
8. Novland M., Judd A.G. Seabed pockmarks and Seepages. London: Kluwer. 1988. 293 p

9. Levchenko O.V., Merklin L.R. High resolution shallow seismoacoustics: intra-sedimentary features associated with gas-charged sediments. In: Abstracts.Indo-Russ.Gas Hydrates Workshop. Delhi: DGH. 2000. P.17-18.

**Рецензенты:**

Владов М.Л., д.ф-м.н., профессор, заведующий кафедрой геоакустики и сейсмометрии геологического факультета МГУ, г.Москва.

Шлезингер А.Е., д.г-м.н., профессор, главный научный сотрудник Геологического института РАН, г.Москва.