

# РУДНИЧНАЯ АЭРОГАЗОДИНАМИКА И ГОРНАЯ ТЕПЛОФИЗИКА

УДК 622.831

DOI:10.7242/echo.2022.3.9

## ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ МЕХАНИЗМ ДЕГАЗАЦИИ КАРНАЛЛИТОВОГО ПЛАСТА Б НА УЧАСТКАХ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СМЕШАННЫХ СОЛЕЙ

С.С. Андрейко

*Горный институт УрО РАН, г. Пермь*

**Аннотация:** Выполнен анализ требований действующих нормативных документов по безопасному ведению горных работ на участках развития смешанных солей пласта Б в условиях шахтных полей рудников ПАО «Уралкалий». В статье закономерности распределения газов в породах пласта Б объясняются функционированием трехзонной функциональной системы замещения карналлита пестрым сильвинитом по аналогии с функциональной системой галогенного метасоматоза. Модельная схема трехзонной системы замещения, используемая при разработке модели геологического механизма дегазации пород пласта Б смешанного состава. Рассмотрен вариант схемы процесса сильвинитизации карналлита пласта Б при движении агрессивных водных растворов по наиболее проницаемым галопелитовым прослойкам в пласте каменной соли Б–В, т.е. в ситуации, когда карналлитовая порода (низ) + пестрый сильвинит (верх). Показано направление миграции свободных газов через микрополости, пустоты между пестрым сильвинитом и внешней стенкой проводника водных растворов, а также по системе трещин в пласте Б–В, формирующейся в процессе деформирования пород кровли пласта Б при уменьшении его объема в процессе сильвинитизации примерно в 1,7 раза. Эффект уменьшения объема пласта Б при его сильвинитизации рассматривается как важный фактор в понимании процесса дегазации пласта Б на участках распространения смешанных солей. По сути в данном случае наблюдается эффект геологической разгрузки пласта Б – геологической шелевой разгрузки пласта Б на площадях распространения смешанных солей. Этот факт имеет важное практическое значение, т.к. позволяет обоснованно выполнить корректировку параметров безопасного ведения горных работ на участках развития смешанных солей пласта Б на шахтных полях калийных рудников.

**Ключевые слова:** калийный рудник, пласт Б, карналлит, пестрый сильвинит, замещение, смешанные соли, модельная схема, водные растворы, сильвинитизация, газоносность, дегазация, геологическая разгрузка.

При проходке подготовительных выработок и ведении очистных горных работ в условиях Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей на участках распространения смешанных солей пласта Б (карналлит+сильвинит) вводятся дополнительные требования по безопасному ведению горных работ. При этом согласно требованиям регламента технологических производственных процессов проведение выработок при приближении к участкам распространения смешанных солей и их пересечении должно производиться в соответствии с проектом организации работ, утверждаемым главным инженером рудника [1]. Проект должен содержать комплекс профилактических мер по предотвращению выбросов соли и газа и созданию безопасных условий труда. В случае вскрытия забоем карналлита площадью, занимающей до 30% от площади забоя, должно производиться бурение разведочно-дегазационных шпуров. Длина разведочно-дегазационных шпуров, бурение которых производится в грудь забоя, должна быть не менее 4,0 м при неснижаемом опережении не менее 1,0 м. При этом боковые шпуров должны выходить за контур выработки не менее чем на 1,0 м.

При вскрытии забоем выработки карналлита площадью, занимающей более 30% от площади забоя, проходку выработки осуществляют с обязательным торпедированием массива. Бурение разведочно-дегазационных шпуров (торпедирование мас-

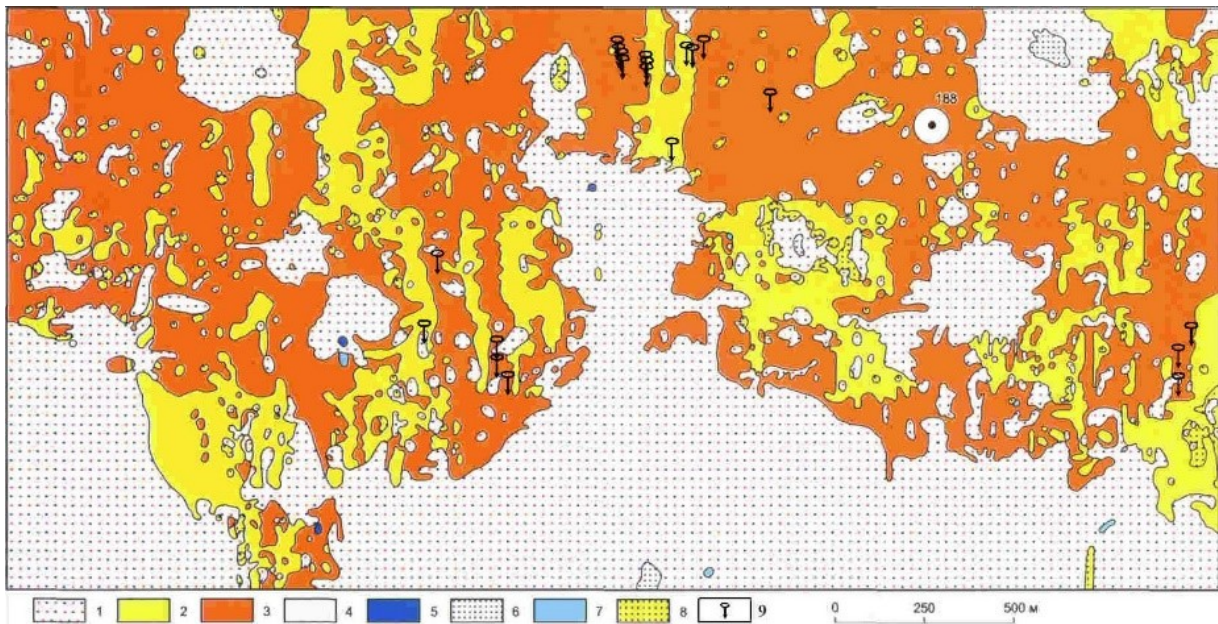
сива) прекращают при выходе забоя выработки с участка смешанных солей. Дистанционное (полуавтоматическое) управление комбайном осуществляют одновременно с ведением бурения разведочно-дегазационных шпуров, а отмену – после удаления забоя от участка смешанных солей не менее, чем на 20,0 м. Следует отметить, что данные мероприятия не учитывают специфику геологического строения участков пласта Б, представленного смешанными солями, и влияния геологических процессов сильвинитизации карналлита на газоносность и газодинамические характеристики пород пласта Б. При этом общеизвестным является тот факт, что бурение горизонтальных шпуров (скважин) для дегазации соляных пород характеризуется крайне низкой эффективностью и в лучшем случае радиус дегазации пород вокруг дегазационного шпура (скважины) не превысит  $3d$ , где  $d$  – диаметр шпура (скважины).

В этой связи для корректировки комплекса профилактических мер при ведении горных работ в зонах распространения смешанных солей пласта Б весьма интересными представляются модельные построения механизма возможной дегазации пласта Б на участках распространения смешанных солей, которые довольно широко представлены на шахтных полях рудников БКПРУ-2, СКРУ-3 и Усть-Яйвинском руднике БКПРУ-2 ПАО «Уралкалий».

В процессе разработки модели геологического механизма дегазации пород пласта Б смешанного состава будем исходить из положения, что в общем случае миграция водных растворов происходила в субвертикальном направлении (снизу-вверх). Однако вследствие ярко выраженной анизотропии фильтрационных свойств соленосной толщи латеральное направление миграции водных растворов преобладало над вертикальным [2-8]. Это, например, четко прослеживается по характеру распределения первичных и вторичных (эпигенетических) пород пласта Б в пределах шахтных полей рудника БКПРУ-2 (рис. 1).

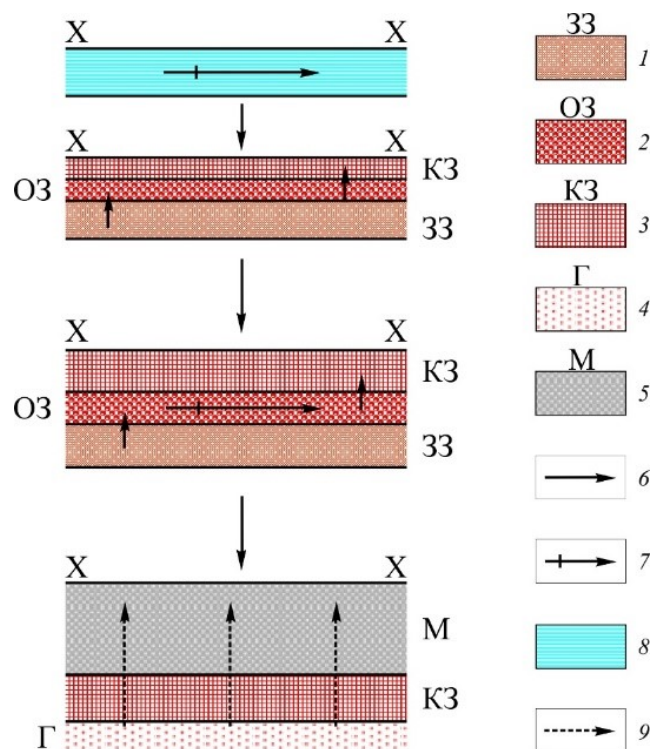
Направление миграции водных растворов внутри соляной толщи, в частности по пласту Б и вмещающим его породам – пласту полосчатого сильвинита А и пласту каменной соли Б-В, накладывало свои особенности на распределение газов в породах пласта Б, положение газовых скоплений и очагов газодинамических явлений. Закономерности распределения газов в породах пласта Б могут быть логично объяснены в соответствии с работой трехзонной функциональной системы замещения карналлита пестрым сильвинитом (в некоторой мере аналог функциональной системы галогенного метасоматоза). Модельная схема трехзонной системы замещения, используемая при разработке модели геологического механизма дегазации пород пласта Б смешанного состава в условиях шахтного поля рудника БКПРУ-2 представлена на рисунке 2.

Эта схема отвечает процессу сильвинитизации карналлита пласта Б при движении агрессивных водных растворов по наиболее проницаемым галопелитовым прослойкам в пласте каменной соли Б-В, т.е. ситуации, когда карналлитовая порода (низ) + пестрый сильвинит (верх). В этом случае свободный газ будет мигрировать через микропоры, пустоты между пестрым сильвинитом и внешней стенкой проводника водных растворов, а также системе трещин в пласте Б-В, формирующейся в процессе деформирования пород кровли пласта Б при уменьшении его объема в процессе сильвинитизации примерно в 1,7 раза, и выноситься из пласта Б вместе с водными растворами с последующей возможной аккумуляцией в галопелитовых слоях и прослойках и в пласте В. Эффект уменьшения объема пласта Б при его сильвинитизации является весьма важным фактором в понимании процесса дегазации пласта Б на участках распространения смешанных солей. По своей сути в данном случае наблюдается эффект геологической разгрузки пласта Б или, следуя терминологии горного дела, геологической щелевой разгрузки пласта Б на площадях распространения смешанных солей.



**Рис. 1.** Характер распределения первичных и вторичных (эпигенетических) пород пласта Б в пределах западного крыла шахтного поля рудника БКПРУ-2 [2]

1 – пестрый сильвинит; 2 – карналлитовая порода; 3 – карналлитовая порода (низ) + пестрый сильвинит (верх); 4 – пестрый сильвинит (низ) + карналлитовая порода (верх); 5 – каменная соль (низ) + пестрый сильвинит (верх); 6 – пестрый сильвинит (низ) + каменная соль (верх); 7 – каменная соль; 8 – прочие типы разреза; 9 – газодинамические явления

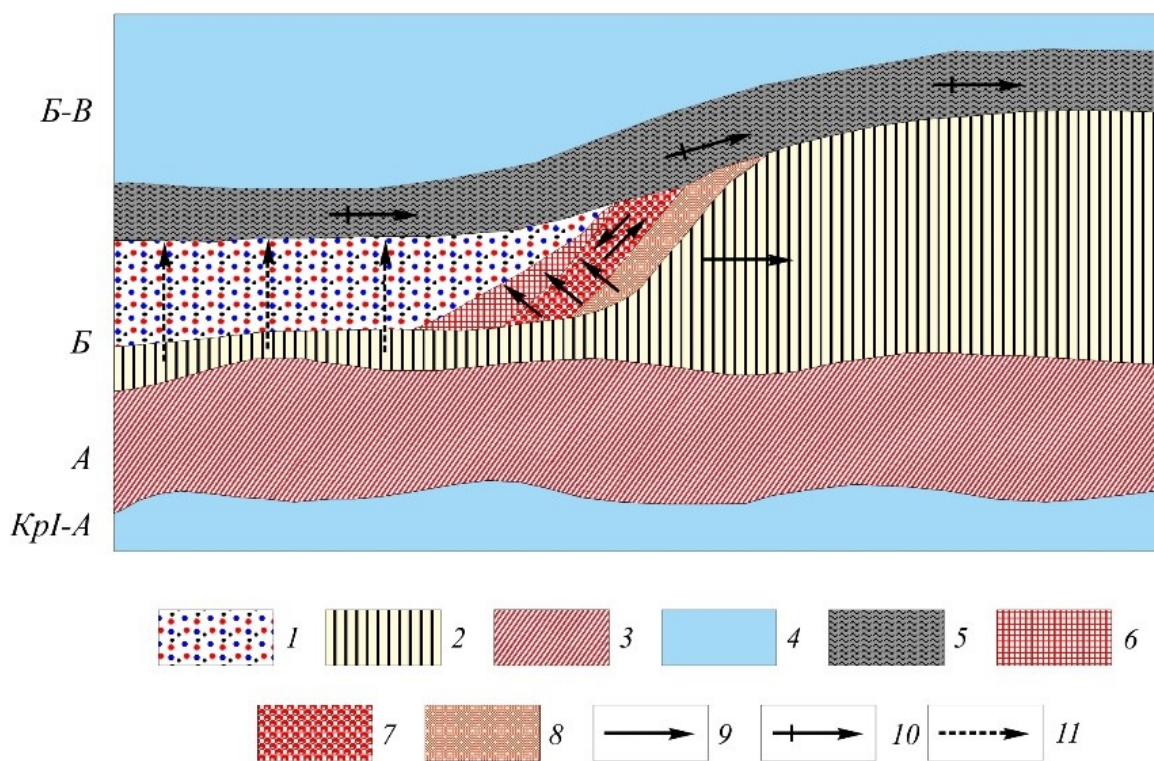


**Рис. 2.** Модельная элементарная схема трехзонной функциональной системы замещения

при сильвинитизации пласта Б (слоя пласта Б) и его дегазации в процессе геологической разгрузки  
 1 – проводник; Т – трещина; 1 – забойная зона; 2 – обменная зона; 3 – конденсационная зона;  
 4 – свободный газ; 5 – пестрый сильвинит пласта Б; 6 – массообмен между забойной и конденсационной зонами через обменную; 7 – продольный массообмен вдоль обменной зоны;  
 8 – каменная соль пласта Б–В с «коржом» и галопелитовыми слоями и прослойками;  
 9 – направление миграции свободных газов в процессе метасоматоза; ТЗ – транзитная зона

Как показали результаты исследований щелевой разгрузки карналлитового пласта В в условиях рудника СКРУ-1, проведение разгрузочно-дегазационной щели высотой (раскрытием) 0,1-0,15 м обеспечивает дегазацию карналлитового пласта В на расстоянии вверх и вниз от щели на до 2,0 м [9-17].

Фактически механизм дегазации пород пласта В на участках распространения смешанных солей мог выглядеть следующим образом. Миграция водных растворов могла происходить из подсолевых отложений в соляную толщу в субвертикальном направлении (снизу-вверх). Однако вследствие ярко выраженной анизотропии фильтрационных свойств соляной толщи, латеральное направление миграции растворов преобладало над вертикальным. Есть основание полагать, что направление миграции водных растворов внутри соляной толщи накладывало свои особенности не только на распределение первичных и вторичных пород, но и на положение скоплений свободного газа в массиве. При сильвинитизации карналлита пласта В миграция агрессивных растворов происходила в направлении от пестрого сильвинита в сторону развития карналлитовых пород. Более детально один из вариантов этой модельной схемы механизма применительно к условиям пласта В показан на рисунке 3.



**Рис. 3.** Модельная элементарная схема трехзональной функциональной системы замещения при сильвинитизации пласта В (слоя пласта В) и его дегазации в процессе геологической разгрузки при положении карналлитовая порода (низ) + пестрый сильвинит (верх)  
 1 – пестрый сильвинит; 2 – карналлит; 3 – полосчатый сильвинит; 4 – каменная соль; 5 – «корж» В;  
 6 – конденсационная зона; 7 – обменная зона; 8 – забойная зона; 9 – массообмен между забойной и конденсационной зонами через обменную, обменной зоны с транзитной; 10 – продолжный массообмен; 11 – направление миграции свободных газов в процессе метасоматоза (замещения карналлита пестрым сильвинитом)

В этом варианте модельной схемы вследствие высокой проницаемости глинисто-ангидритовых прослоев агрессивные растворы проникали в первую очередь по соленосным глинам и, следовательно, сильвинитизация карналлитовых пород пла-



ста Б начиналась сверху. Забойная зона трехзонной функциональной системы метасоматоза двигалась как вниз от проводника, так и вперед по направлению движения водного раствора. Разложение карналлита сопровождалось дефицитом твердой фазы, т.к. агрессивность водного раствора относительно карналлита равняется примерно единице. В результате этого вновь образованная порода, пестрый сильвинит, вблизи контакта с карналлитовой породой обладает повышенной пористостью. На участках полного разложения карналлита пласта Б из-за дефицита твердой фазы формировалась пустоты. Эти пустоты по аналогии можно считать разгрузочно-дегазационными щелями, сформировавшимися на площадях распространения смешанных солей. Формирование таких природных разгрузочно-дегазационных щелей создавало известный эффект надработки части пласта Б карналлитового состава. Известно, что эффект надработки сопровождается формированием в надработанной части пласта Б за счет разгрузки от горного давления систем трещин, через которые происходила миграция свободных газов и дегазация части пласта Б, представленной карналлитовой породой. В дальнейшем структурные связи между зернами минералов под воздействием литостатического давления и продолжающейся миграции растворов восстанавливались и порода становилась монолитной, практически лишенной крупных пор. По мере продвижения фронта сильвинитизации (забойной, обменной и конденсационной зон системы метасоматоза) участки с различной пористостью перемещались в том же направлении, что и мигрирующие растворы. Наибольшее количество очагов газодинамических явлений образовывалось на участках развития более пористых пород при «затухании» процесса сильвинитизации, т.е. вблизи контакта смешанных солей пласта Б с карналлитовым составом пласта Б.

Следует отметить, что конкретное положение очагов ГДЯ в пласте АБ зависит от многих факторов, основным из которых является наличие геологических нарушений (микроскладок, раздувов и пережимов пластов; скоплений глинистого материала; отслоений; локальной раздробленности пласта; одиночных полых трещин и их серий). Эти нарушения могут быть не только в том пласте, где идет сильвинитизация, но и в соседних, где также создаются условия для аккумуляции свободных газов. Газ проникает и заполняет полости и пустоты, используя при этом самые разнообразные пути: трещины, сопутствующие складкообразованию; скопления глинистого материала; трещины «метасоматической контракции»; межзерновое пространство. В этой связи при ведении горных работ следует руководствоваться требованиями «Специальных мероприятий...».

Таким образом, наличие в пласте Б смешанного состава (карналлит+сильвинит) слоев пестрых сильвинитов свидетельствует о частичной дегазации пород пласта Б за счет природной разгрузки (надработки, подработки в процессе сильвинитизации карналлитов пласта Б. При мощности слоя пестрых сильвинитов в пласте Б 0,1 м и более независимо от его положения (кровля, почва, в пласте) можно говорить о частичной дегазации пород пласта Б смешанного состава мощностью до 2,0 м. Этот вывод имеет важное практическое значение, т.к. позволяет обоснованно выполнить корректировку параметров безопасного ведения горных работ на участках развития смешанных солей пласта Б на шахтных полях калийных рудников.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках  
научного проекта № 20-45-596017 «Геохимическая и геодинамическая эволюция  
газовой фазы месторождений калийных солей как основа  
безопасного недропользования»*

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Проходка горизонтальных и наклонных горных выработок на рудниках ПАО «Уралкалий»: регламент технологич. производст. процессов / АО «ВНИИ Галургии». – Пермь, 2021. – 82 с.
2. Кудряшов А.И. Верхнекамское месторождение солей / ГИ УрО РАН. – Пермь, 2001. – 429 с.: ил.
3. Кудряшов А.И., Андрейко С.С. О природе очагов внезапных выбросов соли и газа // Изв. вузов. Горн. журн. – 1986. – № 2. – С. 10-13.
4. Андрейко С.С., Калугин П.А., Щерба В.Я. Газодинамические явления в калийных рудниках: Генезис, прогноз и управление / под. ред. В.Я. Прушака. – Минск: Выш. шк., 2000. – 335 с.: ил.
5. Шаманский Г.П., Вишняков А.К. О возможности прогнозирования газодинамических явлений в солях на основе геологических признаков // Разработка соляных месторождений: межвуз. сб. науч. тр. / ППИ. – Пермь, 1977. – С. 105-109.
6. Вишняков А.К. Вторичные (эпигенетические) изменения галогенной толщи Соликамской впадины // Стрoение и условия образования соленосных формаций: [Докл. совещ. / Всесоюз. солевое совещ., Новосибирск, 1979]. – Новосибирск: Наука, 1981. – С. 59-68.
7. Валеев Р.Н., Вишняков А.К. Тектоника и эпигенез галогенных отложений // Условия образования и закономерности размещения месторождений нерудного минерального сырья европейской части СССР: сб. науч. тр. – Казань, 1976. – С. 101-130.
8. Кудряшов А.И. Флюидогеодинамика / [ГИ УрО АН СССР]. – Свердловск, 1991. – 228 с.
9. Способ разгрузки и дегазации пласта: пат. 2200844 Рос. Федерация: МПК<sup>7</sup> E 21 F 5/00 / Алыменко Н.И., Андрейко С.С., Бушуев Ю.П., Минин В.В., Нестерова С.Ю., Чистяков А.Н.; заявитель и патентообладатель ОАО «Сильвинит». – № 2001118588/03; заявл. 04.07.01; опубл. 20.03.03, Бюл. № 8. – с.
10. Нестерова С.Ю. Результаты исследования эффективности применения дегазационно-разгрузочной щели для предотвращения ГДЯ при механизированной выемке карналлитового пласта В // Стратегия и процессы освоения георесурсов: материалы науч. сес. ГИ УрО РАН по результатам НИР в 2004 г. – Пермь, 2005. – С. 270-272.
11. Нестерова С.Ю. Результаты оценки эффективности дегазационно-разгрузочной щели при дегазации карналлитового пласта в условиях рудника СКПРУ-1 ОАО «Сильвинит» // Горное Эхо. – 2005. – № 4 (22). – С. 28-31.
12. Нестерова С.Ю. Результаты исследования эффективности дегазационно-разгрузочной щели глубиной 3м в стенке горной выработки // Стратегия и процессы освоения георесурсов: материалы ежегод. науч. сес. ГИ УрО РАН по результатам НИР в 2005 г. – Пермь, 2006. – С. 168-170.
13. Нестерова С.Ю. Оценка эффективности дегазационно-разгрузочной щели при механизированной выемке карналлитового пласта В // Геология и полезные ископаемые Западного Урала: сб. ст. по материалам регион. науч.-практ. конф. / ПГУ [и др.]. – Пермь, 2006. – С. 222-225.
14. Нестерова С.Ю. Технология дегазации выбросоопасного массива при механизированной выемке карналлитового пласта В // Стратегия и процессы освоения георесурсов: материалы Всерос. науч. конф. / ГИ УрО РАН. – Пермь, 2008. – С. 258-259.
15. Андрейко С.С., Нестерова С.Ю., Бикмаева Т.А. Дегазация выбросоопасного карналлитового пласта с помощью щелевой разгрузки // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2008. – № 8. – С. 89-91.
16. Нестерова С.Ю. Технология дегазации выбросоопасных пород при механизированной выемке карналлита // Изв. вузов. Горн. журн. – 2008. – № 8. – С. 47-52.
17. Нестерова С.Ю. Оценка эффективности горизонтальной дегазационно-разгрузочной щели для предотвращения газодинамических явлений при механизированной выемке карналлита // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. – 2008. – № 4 (24). – С. 6-67.