

В.И. Башков, В.Ф. Мельниченко, А.А. Еременко, Е.А. Христюбов

ТЕХНОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ РУДНОГО ТЕЛА ЭТАЖНО-КАМЕРНОЙ СИСТЕМОЙ С ШАХМАТНЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ ВЫЕМОЧНЫХ КАМЕР И МЕЖДУКАМЕРНЫХ ЦЕЛИКОВ НА УДАРООПАСНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ

Дано обоснование технологии разработки рудного тела этажно-камерной системой с шахматным расположением выемочных камер и междукамерных целиков на удароопасном Шерегешевском месторождении. Выполнена оценка напряженно-деформированного состояния (НДС) массива горных пород при выемке камер и целиков, при этом предложена расчетная схема. Приведены результаты оценки НДС массива горных пород при развитии очистных работ, определены зоны концентрации напряжений и неупругих деформаций. Определен порядок выемки камер и целиков в рудном теле. Определены объемы подготовительно-нарезных работ, потери и разубоживание руды. Установлено, что при определенных запасах руды и параметрах блока объемы подготовительно-нарезных работ колеблются от 9,6 до 24,1 м³/1000 т, потери от 5 до 13% и разубоживание — от 8 до 22%.

Ключевые слова: массив горных пород, месторождение, система разработки, напряжение, блок, целик, взрыв.

DOI: 10.25018/0236-1493-2017-7-0-124-130

Освоение Шерегешевского железорудного месторождения привела к решению о переходе к выемке запасов с помощью современного высокопроизводительного оборудования. Потребовалось применение новых систем разработки, схем вскрытия и подготовки запасов на основных и подэтажных горизонтах и другие мероприятия [1].

В рамках реализации предложенной ОАО «Уралмеханобр» стратегии реконструкции Шерегешского рудника по согласованию с техническим руководством ОАО «Евразруда» для проверки технологических решений в производ-

ственных условиях организовано проведение опытно-промышленные испытания (ОПИ) по внедрению новых вариантов систем разработки с применением высокопроизводительного оборудования. В качестве опытно-промышленного участка было выбрано Юго-Западное рудное тело на участке Новый Шерегеш. В проекте ОПИ предложена этажно-камерная система разработки с шахматным расположением выемочных камер и междукамерных целиков (рис. 1).

Целью данной работы является обоснование технологических решений разработки Юго-Западного рудного тела участ-

ка Новый Шерегеш при выемке запасов руды с применением выше указанной системой разработки, обеспечивающих повышение безопасности и эффективности ведения очистных работ.

Горно-геологические условия эксплуатации участка залежи определяются сложностью геологической структуры. Характерной особенностью рудного поля Шерегешевского месторождения является то, что рудовмещающая толща пород его сложена преимущественно породами (скарнами, диоритами, порфиридами и т.д.), крепость и упругие характеристики которых больше, чем у руды (до 1,5 раз), при том что руды имеют достаточно высокую прочность. Вмещающие породы и руды трещиноваты и относятся к III классу устойчивости. Прочность на сжатие горных пород колеблется от 1013 до 2404 кг/см²; коэффициент крепости по Протодьяконову — от 8 до 21.

С горизонта +255 м и ниже Шерегешевское месторождение отнесено к опасным по горным ударам [2—6]. Руды и вмещающие породы месторождения прочные, высокомодульные, хрупко разрушаются под нагрузкой, и способны накапливать значительную упругую энергию деформаций. Главными факторами, способствующими возникновению удароопасной ситуации, являются: глубина отработки, слепое залегание рудных тел, блочная тектоническая структура и разнородная трещиноватость.

Отработка запасов предполагает разделение рудных тел в плане на камеры и целики равных размеров (размер камер и целиков приняты равными 20×20 м), расположенных в шахматном порядке относительно друг друга. Принципиальная схема раскрояки запасов проектируемого участка при шахматном расположении камер и целиков представлена на рис. 1.

Дана оценка напряженно-деформированного состояния (НДС) массива гор-

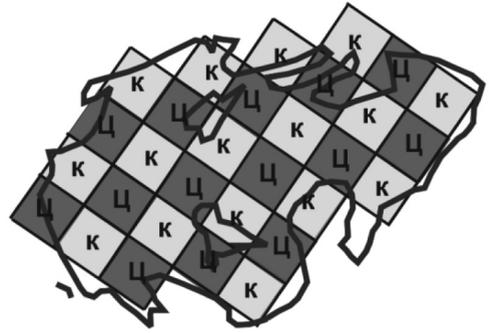


Рис. 1. Схема расположения камер (К) и целиков (Ц) на Юго-Западном рудном теле

ных пород при выемке камер и целиков (работа выполнена совместно с Л.Н. Гаховой). На рис. 2 приведена расчетная схема в плане и обозначена локальная система координат, направление осей которой соответствуют направлению действий горизонтальных напряжений нетронутого массива.

Напряжения в массиве определяются весом пород и коэффициентом бокового отпора в ненарушенном массиве. На глубине 445 м в вертикальном направлении действует напряжение $\sigma_z = \gamma H$, где H — глубина, м, γ — удельный вес пород. В локальной системе координат горизонтальные напряжения: $\sigma_x = \lambda_1 \gamma H$; $\sigma_y = \lambda_2 \gamma H$, где λ_1, λ_2 — коэффициенты бокового отпора. Для условий месторождения интегральная характеристика

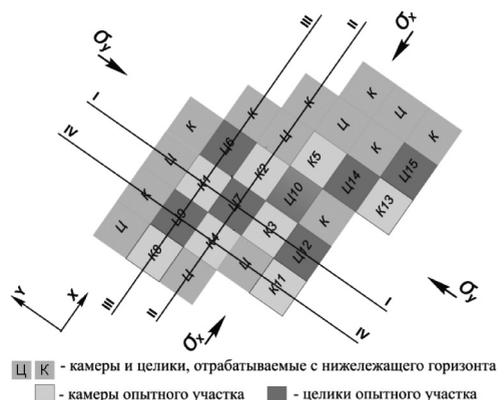


Рис. 2. Расчетная схема. Локальная система координат

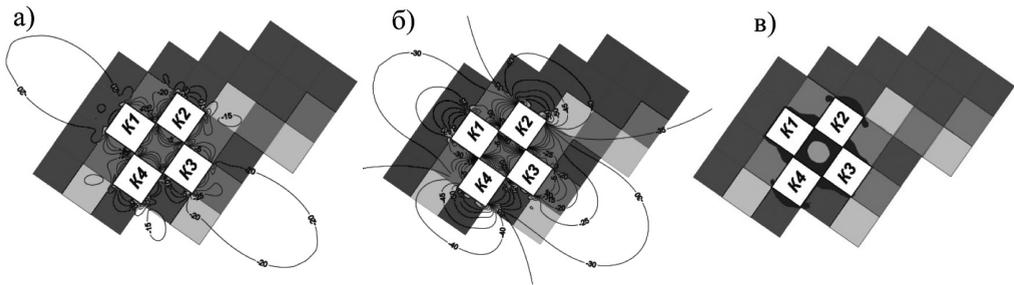


Рис. 3. Горизонтальные напряжения (МПа) σ_x (а), σ_y (б) и зоны неупругих деформаций А (в) в локальной системе координат при отработанных камерах K_1, K_2, K_3, K_4

$\gamma = 2,95 \text{ г/см}^2$, $\lambda_1 = 1,4$, $\lambda_2 = 2,6$. Следовательно, для нетронутого массива на глубине $\sigma_z^0 = 13,2 \text{ МПа}$, $\sigma_x^0 = 18,5 \text{ МПа}$, $\sigma_y^0 = 34,3 \text{ МПа}$.

Результаты расчетов представлены в виде графиков изолиний компонентов тензора напряжений (σ_x , σ_y , σ_z) и напряжениями σ_s (сдвигающими напряжениями), сравниваемыми со сцеплением массива и позволяющими для анализа воспользоваться критерием разрушения Кулона-Мора [7, 8].

С учетом коэффициента структурного ослабления критическая величина $\sigma_5^{\text{крит}} = 5 \text{ МПа}$. Зоны массива, в которых рассчитанные σ_s превосходят критическую величину ($\sigma_s > \sigma_5^{\text{крит}}$), являются зонами возможного неупругого деформирования (возможного разрушения). На рис. 3–6 представлены некоторые результаты расчетов в плане и в вертикальных сечениях.

Отработка камер 1–4 по приведенной схеме (рис. 2) приводит к образованию в сформированном целике между камерами области неупругих деформаций, охватывающей почти весь целик (рис. 3, в). При этом борта камер K_1 и K_3 (со стороны целика) разгружены от действия σ_x и σ_y (рис. 3, а, 4, б) до значений, превосходящих предел прочности пород на растяжение, а в бортах камер K_4 и K_2 σ_y превышает σ_y^0 в 1,3 раза, достигая 45 МПа.

Дальнейшее развитие очистных работ приводит к росту вблизи камер и отработанных целиков ($K_2, K_5, Ц_6, Ц_{14}$) со стороны нетронутого массива горизонтальных напряжений σ_y , превышающих σ_y^0 (более чем в 2,5 раза, достигая 90 МПа, рис. 4, б). В то же время в бортах этих же камер наблюдается разгрузка от горизонтальных напряжений σ_x , что приводит к формированию вблизи

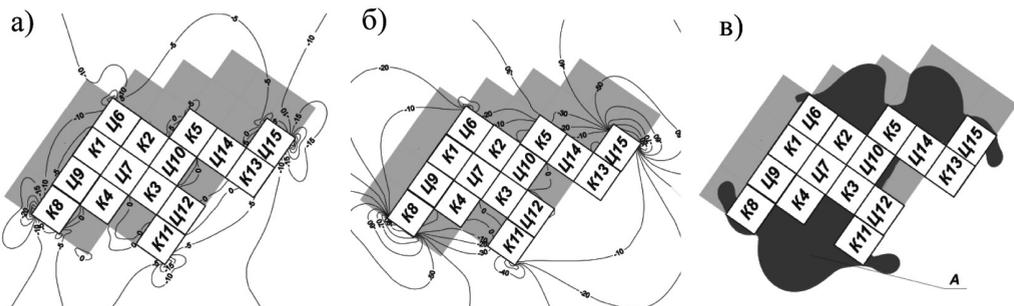


Рис. 4. Горизонтальные напряжения (МПа) σ_x (а), σ_y (б) и зоны неупругих деформаций А (в) в локальной системе координат (см. рис. 2). Отработаны камеры $K_1-K_8, K_8, K_{11}, K_{13}$ и целики $Ц_6, Ц_7, Ц_9, Ц_{10}, Ц_{12}, Ц_{14}, Ц_{15}$

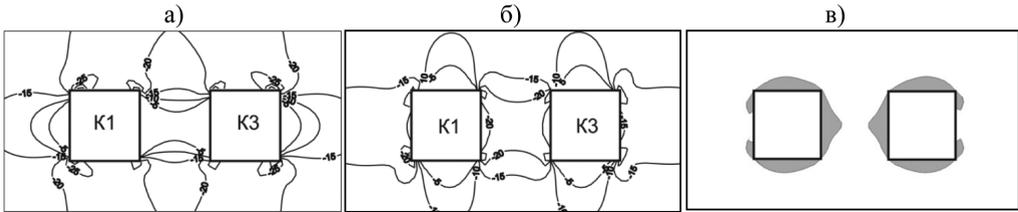


Рис. 5. Горизонтальные σ_x (а), вертикальные σ_z (б) напряжения (МПа) и зоны неупругих деформаций (в) в области влияния очистного пространства после отработки К1 и К3 в сечении I—I

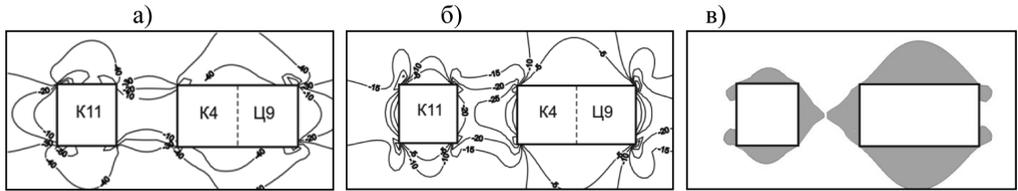


Рис. 6. Горизонтальные σ_x (а), вертикальные σ_z (б) напряжения (МПа) и зоны неупругих деформаций (в) в области влияния очистного пространства (в) после отработки К1, К3 и Ц9 в сечении IV—IV

бортов K_2 и отработанного \mathcal{C}_6 зон неупругих деформаций (рис. 4, в). Аналогичная ситуация возникнет во вмещающем массиве вблизи K_3 , K_4 , K_8 и K_{11} . В этой связи можно предположить, что последующее развитие работ в нисходящем порядке может потребовать применения дополнительных средств укрепления этих нарушенных зон. Вариант системы разработки с шахматным расположением камер и отработкой запасов сразу на всю мощность рудного тела, а также его конструктивные особенности представлены на рис. 7 [1].

Отработка запасов руды осуществляется расходящимися фронтами. После отработки 2-х камер в каждом направлении осуществляется обрушение одного временного рудного целика. Очистные работы начинаются с образования отрезной щели в верхней части первоочередной камеры. Отрезную щель в камере создают путем взрывания рядов параллельных скважин, пробуренных из буровых выработок, на отрезной восстающей. Параметры отрезной щели: ширина не менее 2,5–3 м; длина равна ширине камеры (20 м). Затем осуществляется отбойка и выемка запасов в

верхней части камеры (на подэтаже) путем отбойки вееров скважин на отрезную щель и на свободное пространство, образованное выпуском отбитой руды.

Отгрузка руды из верхней части камеры производится через подэтажные боковые погрузочные заезды в камеру с использованием погрузочно-доставочных машин. После отбойки и отгрузки

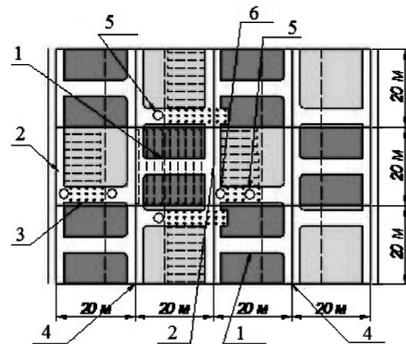


Рис. 7. Система разработки с шахматным расположением камер и отработкой запасов сразу на всю мощность рудного тела (подэтажный буровой штрек): 1 — подэтажный буровой орт целика; 2 — подэтажный буровой штрек камеры; 3 — подэтажный погрузочный заезд в камеру; 4 — подэтажный транспортный штрек; 5 — отрезной восстающей нижнего подэтажа камеры; 6 — отрезной восстающей верхнего подэтажа камеры

Таблица 1

Объем подготовительно—нарезных работ при системе разработки

| Наименование | Сечение, м ² | Длина, м | Объем, м ³ | | |
|------------------------------|-------------------------|----------|-----------------------|---------|-----------|
| | | | всего | по руде | по породе |
| Верхний подэтаж блока | | | | | |
| Транспортный штрек | 16,0 | 20 | 320 | 320 | 0 |
| Буровой штрек по камере | 16,0 | 20 | 320 | 320 | 0 |
| Погрузочный заезд в камеру | 16,0 | 20 | 320 | 320 | 0 |
| Буровой орт по целику | 16,0 | 16 | 256 | 256 | 0 |
| Отрезной восстающий | 6,0 | 15 | 90 | 90 | 0 |
| Итого по подэтажу | — | — | 1306 | 1306 | 0 |
| Нижний подэтаж блока | | | | | |
| Транспортный штрек | 16 | 20 | 320 | 0 | 320 |
| Буровой штрек по камере | 16 | 20 | 240 | 0 | 240 |
| Погрузочные заезды в камеру | 16 | 32 | 512 | 0 | 512 |
| Буровой орт по целику | 16 | 16 | 256 | 256 | 0 |
| Отрезной восстающий | 6 | 30 | 180 | 180 | 0 |
| Итого по подэтажу | — | — | 1588 | 436 | 1152 |
| Неучтенные полевые выработки | 20% | — | 579 | 348 | 230 |
| Всего по системе разработки | — | — | 3473 | 2090 | 1382 |

запасов в верхней части камеры приступают к отработке нижней части камеры. Так же как и в верхней части камеры, создается отрезная щель и на нее осуществляется отбойка вееров скважин. Отгрузка руды производится из доставочных выработок, пройденных в нижней части камеры. Затем аналогичным образом производится отработка запасов еще в 3 смежных выемочных камерах.

На последующей стадии производится массовое обрушение одного целика, расположенного между отработанными камерами. Отбойка следующего рудного

целика производится после отработки двух смежных камер. Отбитую руду целика отгружают через погрузочные заезды в смежных камерах с помощью самоходных погрузочно-доставочных машин.

Объемы подготовительно-нарезных работ в пределах блока, состоящего из камеры и междукammerного целика, для данного варианта системы разработки, представлены в табл. 1. Средние параметры блока: высота — 45 м, длина — 40 м и ширина — 20 м. Запасы руды в блоке при удельном весе руды — 3,9 т/м³ составляют 140,4 тыс. т.

Таблица 2

Потери и разубоживание руды при системе разработки

| Наименование показателя | Потери, % | Разубоживание, % |
|-------------------------|-----------|------------------|
| Отработка камеры | 5 | 8 |
| Отработка целика | 13 | 22 |
| В целом по блоку | 9,9 | 16,5 |

Объем подготовительно-нарезных работ в блоке равен: $q_{\text{(всего)}} = 3473/144 = 24,1 \text{ м}^3/1000 \text{ т}$; $q_{\text{(по руде)}} = 2090/144 = 14,5 \text{ м}^3/1000 \text{ т}$; $q_{\text{(по породе)}} = 1382/144 = 9,6 \text{ м}^3/1000 \text{ т}$.

Потери и разубоживание руды приняты для подсчета средневзвешенных показателей в зависимости от объема камеры в блоке и приведены в табл. 2.

Таким образом, установлено, что данный вариант системы разработки обеспечивает:

- высокую концентрацию горных работ на участке с ограниченными площадями при совмещении очистной выемки в смежных блоках;

- взаимное расположение камер и временных рудных целиков позволяет избежать опасной концентрации горного давления в элементах системы разработки в зоне ведения очистных работ;

- минимальный объем подготовительно-нарезных работ на 1000 т добычи руды.

Кроме того, на этапах развития очистных работ формируются области неупругого деформирования в центральной части рудного тела, влияние которых снижается путем корректировки очередности отработки камер. Но основное количество камер центральной части рудного тела отработано в благоприятных условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Техническое перевооружение технологического процесса отработки запасов Юго-Западного рудного тела участка Новый Шерегеш выше гор. +255 м.* Отчет ОАО «Уралмеханобр» — ОАО «Евразруда». — Екатеринбург, 2014. — 165 с.

2. *Указания по безопасному ведению горных работ на месторождениях Горной Шории, склонных и опасных по горным ударам.* — Новосибирск–Новокузнецк, 2015. — 73 с.

3. *Инструкция по безопасному ведению горных работ на рудных и нерудных месторождениях, объектах строительства подземных сооружений, склонных и опасных по горным ударам РД 06-329-99.* — М., ГП НТЦ по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России, 2000.

4. *Курленя М. В., Еременко А. А., Башков В. И.* Влияние взрывных работ на сейсмические явления при подземной разработке рудных удароопасных месторождений Сибири // Горный журнал. — 2015. — № 8. — С. 69–71.

5. *Башков В. И., Штирц В. А., Еременко А. А., Конурин А. И.* Оценка геомеханического состояния массива горных пород при производстве массовых взрывов на удароопасном рудном месторождении Горной Шории // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. — 2015. — № 2. — С. 205–213.

6. *Курленя М. В., Барышников В. Д., Гахова Л. Н.* Развитие экспериментально-аналитического метода оценки устойчивости горных выработок // ФТПРПИ. — 2012. — № 4. — С. 20–28.

7. *Барышников В. Д., Барышников Д. В., Гахова Л. Н., Качальский В. Г.* Геомеханический мониторинг при разработке полезных ископаемых // ФТПРПИ. — 2014. — № 5. **ПЛАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Башков Владимир Иванович — главный инженер, ОАО "Евразруда",
e-mail: Vladimir.Bashkov@evraz.com,

Мельниченко Владимир Федорович — управляющий директор,
ОАО "Евразруда", e-mail: Vladimir.Melinichenko2@evraz.com,

Еременко Андрей Андреевич — доктор технических наук, профессор,
заместитель директора по научной работе ИГД СО РАН,
e-mail: yeryom@misd.nsc.ru,

Христолюбов Евгений Александрович — зам. начальника
технического отдела Горно-Шорского филиала ОАО "Евразруда",
e-mail: Evgeny.Khristolyubov@evraz.com.

V.I. Bashkov, V.F. Melnichenko, A.A. Eremenko, E.A. Khristolyubov

MINING WITH ROOM AND PILLARS SET IN STAGGERED FASHION AT A ROCKBURST-HAZARDOUS DEPOSIT

The authors give justification of rockburst-hazardous ore body mining with room-and-pillar method with staggering of rooms and pillars at Sheregesh deposit. The stress–strain state of rock mass under room-and-pillar mining is estimated, and the calculation model is proposed. The article reports the stress–strain state estimation results with the delineation of concentration zones of stresses and inelastic strains. The sequence of ore extraction from stopes and pillars is determined. It is found that at the given ore reserves and parameters of an extraction block, first mining volume ranges between 9.6 and 24.1 m³/1000 t, ore loss fluctuates from 5 to 13% and ore dilution varies from 8 to 22%.

Key words: rock mass, mineral deposit, mining system, stress, block, pillar, explosion.

DOI: 10.25018/0236-1493-2017-7-0-124-130

AUTHORS

Bashkov V.I., Principal Engineer, EVRAZRUDA, 654207, Novokuznetsk Russia, e-mail: Vladimir.Bashkov@evraz.com,
Melnichenko V.F., Executive Director, EVRAZRUDA, 654207, Novokuznetsk, Russia, e-mail: Vladimir.Melinichenko2@evraz.com,
Eremenko A.A., Doctor of Engineering, Professor, Deputy Director for Science, Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 630091, Novosibirsk, Russia, e-mail: yeryom@misd.nsc.ru,
Khristolyubov E.A., Deputy Head of Technical Department, Gornaya Shoria Division, EVRAZRUDA, 652971, Sheregesh, Kemerovo Region, Russia, e-mail: Evgeny.Khristolyubov@evraz.com.

REFERENCES

1. *Tekhnicheskoe perevooruzhenie tekhnologicheskogo protsessa otrabotki zapasov Yugo-Zapadnogo rudnogo tela uchastka Novyy Sheregesh vyshe gor. +255 m. Otchet OAO «Uralmekhanobr» – OAO «Evrazruda»* (Technical upgrading of ore extraction procedure for Southwestern Orebody on New Shereghesh site above Level +255 m. Uralmekhanobr–Evrazruda Report), Ekaterinburg, 2014, 165 p.
2. *Ukazaniya po bezopasnomu vedeniyu gornyykh rabot na mestorozhdeniyakh Gornoy Shorii, sklonnykh i opasnykh po gornym udaram* (Guidelines for safe mining of rockburst-hazardous ore bodies in Gornaya Shoria), Novosibirsk–Novokuznetsk, 2015, 73 p.
3. *Instruktsiya po bezopasnomu vedeniyu gornyykh rabot na rudnykh i nerudnykh mestorozhdeniyakh, ob'ektakh stroitel'stva podzemnykh sooruzheniy, sklonnykh i opasnykh po gornym udaram RD 06-329-99* (Manual on safe mining and underground construction at rockburst-hazardous metal and nonmetal deposits RD 06-329-99), Moscow, Rostekhnadzor, 2000.
4. Kurlenya M.V., Eremenko A.A., Bashkov V.I. *Gornyy zhurnal*. 2015, no 8, pp. 69–71.
5. Bashkov V.I., Shtirts V.A., Eremenko A.A., Konurin A.I. *Fundamental'nye i prikladnye voprosy gornyykh nauk*. 2015, no 2, pp. 205–213.
6. Kurlenya M.V., Baryshnikov V.D., Gakhova L.N. *Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*. 2012, no 4, pp. 20–28.
7. Baryshnikov V.D., Baryshnikov D.V., Gakhova L.N., Kachal'skiy V.G. *Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*. 2014, no 5.