Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. XLVIII, вып. 1, 1963 г.

УДК 622.83.001.5

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОПОРНОГО ДАВЛЕНИЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ НАПРАВЛЕНИЯХ ВЫЕМКИ

(для условий нижнего блока Заполярного рудника)

Н. З. Галаев

Правильный выбор направления очистной выемки во многом определяет величину опорного давления на целики и прилегающий к выработанному пространству рудный массив, а от проявлений опорного давления зависит безопасность выемки и величина потерь руды. Этот фактор приобретает особо важное значение при разработке трещиноватых неустойчивых руд.

Норильское медно-никелевое месторождение разрабатывает главным образом вкрапленные руды, представляющие собой оруденелые габбро-диабазы. На некоторых участках нижней части рудного тела залегают сплошные сульфидные руды.

Рудное тело и покрывающие породы разбиты многочисленными трещинами различной ориентировки и размеров, четко выраженными и часто заполненными льдом (в зоне вечной мерзлоты, выше горизонта +200 *м*) или вторичными минералами. Трещины, пересекаясь почти под прямыми углами, разбивают массив на отдельные, находящиеся в зацеплении один с другим блоки. Образцы пород обладают высокой крепостью (до 14—16 по шкале Протодьяконова) и упругостью — с трудом бурятся и взрываются. Их временное сопротивление сжатию изменяется от 1500 до 2500 *кг/см*^{2}. Объемный вес 2,8—3,2 *т/м*^{3}.

При разработке массив вследствие большой трещиноватости проявляет свойства упруго-пластической среды. Это подтверждается и наблюдениями, проведенными Отделением горного давления горнометаллургического опытно-исследовательского цеха (ГМОИЦ) Норильского комбината за сдвижением поверхности, разрушениями выработок и целиков. Обработка маркшейдерских данных дает основание считать, что значения временного сопротивления сжатию для массива составляют примерно 85—105 *кг/см*^{2}, сдвигу 8—15 *кг/см*^{2}.

«Нижний рудный блок» (или рудник 7-бис) расположен в юго-западной части месторождения — ниже зоны вечной мерзлоты. Мощность рудной зоны в этой части изменяется от 20 до 50 *м*. Мощность налегающих пород над «нижним блоком» 250—350 *м*. Отработка здесь осложняется проникновением в выработки через трещины метана, источником которого является подстилающая осадочная угленосная Тунгусская свита. Для предотвращения проникновения метана из «нижнего блока» на верхние горизонты с севера и востока оставлены барьерные целики шириной 60—80 *м*. Охранный целик над транспортерными и

рельсовым уклонами шириной 85 *м* делит «нижний блок» на северную (рис. 1) и южную части.

Северная часть блока подстилается сплошными сульфидными рудами, которые в 1947—1950 гг. на площади около 30 000 *м*² были отработаны камерно-столбовой системой (см. рис. 1). Целики, хотя и разбиты многочисленными трещинами, сохраняют устойчивость. Сложность горнотехнических условий обусловила выбор такого направления выемки, при котором опорное давление в наименьшей степени затрудняло

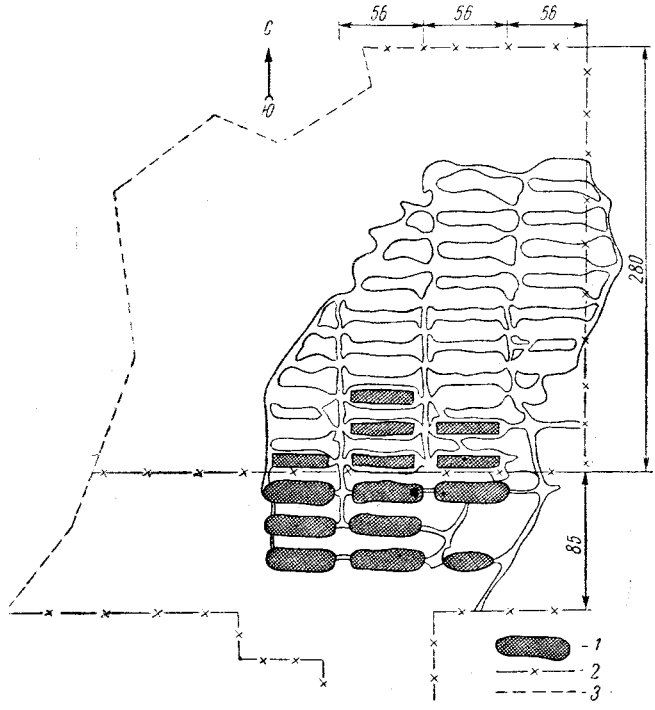


Рис. 1. План северного участка «нижнего блока» Заполярного рудника:

1 — камеры, заполненные бетоном; *2* — границы охранных целиков; *3* — контур рудного тела

бы очистные работы. Исследования проводились на моделях из эквивалентных материалов.

Методика моделирования. Применялись плоские и объемные модели из эквивалентных материалов — смеси кварцевого песка с парафином. Содержание парафина изменялось в зависимости от масштаба моделирования от 0,3 до 0,6 весовых %. Длина плоских моделей 2,8 *м*, высота 1 *м*, ширина 0,18 *м*. Площадь объемных моделей 1,2×1,2 *м*, высота от 0,5 до 1 *м*. Эквивалентные материалы выбирались по подобию известных в натуре явлений (обрушению при критических пролетах подработки, прогибам поверхности).

Многочисленные опыты, проведенные на плоских моделях в масштабе 1 : 400 для условий верхних горизонтов рудника, показали, что наиболее полно удовлетворяют условиям подобия материалы, содержащие 0,3% парафина ($\sigma_{сж}$ от 0,2 до 0,3 *кг/см*², $\sigma_{раз}$ от 0,5 до 0,7 *кг/см*²).

Некоторые закономерности выемки для нижних горизонтов изучались на плоских моделях из более прочных материалов (0,6% парафина, $\sigma_{сж}=0{,}400$ *кг/см*², $\sigma_{раз}=0{,}144$ *кг/см*²), проверялись на объемных моделях из материалов, удовлетворяющих условиям подобия, и соответственно корректировались результаты опытов.

Динамометрическое основание как плоских, так и объемных моделей состояло из датчиков (рис. 2). В дюралюминиевом корпусе *1* датчика помещены две последовательно соединенные индукционные катушки *2*, надетые на металлическую «гребенку» *3*. Слева и справа от гребенки расположены опорные стойки *4*, к которым винтами крепятся сдвоенные (для большей упругости) стальные пластинки *5* размером 280×50 *мм*, соответствующим площади корпуса. Материал пластинок — пружинно-рессорная сталь толщиной 0,8 *мм*. Зазор между нижней пластинкой и сердечниками катушек 1,5—2 *мм*.

Усиление давления сверху приводит к уменьшению величины зазора между нижней пластинкой и сердечниками катушек. Изменение магнитного поля катушек, питаемых переменным током, при перемеще-

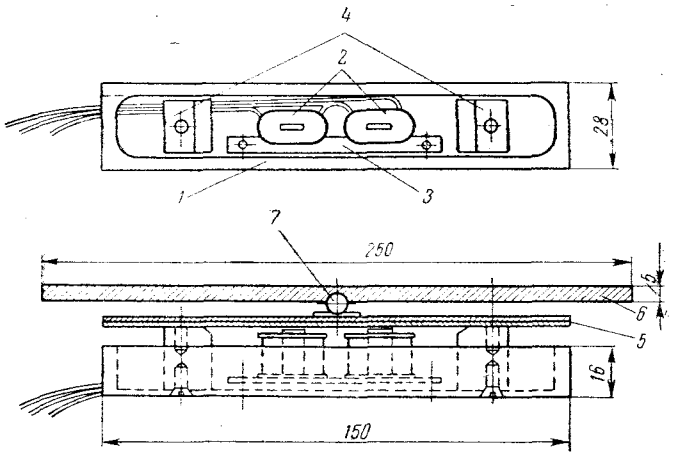


Рис. 2. Схема датчика:
1 — корпус; *2* — индукционные катушки; *3* — сердечник (гребенка); *4* — опорные стойки; *5* — стальные пластинки; *6* — планка; *7* — опорный ролик

нии пластинок приводит к изменению электрических параметров катушек и частоты тока. Эти изменения, фиксируемые и усиляемые измерительной станцией, передаются миллиамперметру.

Каждый датчик тарировался постепенной нагрузкой и разгрузкой от 1 до 40 *кг*. Обработка опытных данных проводилась по кривым нагрузки и разгрузки, так как пластинки датчиков имели остаточные деформации. Нагрузка от модели передавалась сосредоточенно через планку *6* и ролик *7*, расположенный посередине пластинки датчика.

Порядок выемки. Исследовались закономерности распределения опорного давления при выемке от середины к флангам и от флангов к середине участка. Плоские модели высотой 1 *м* подрабатывались снизу на 10 *см* (в переводе на натуру 40 *м*). Мощность налегающей толщи пород 90 *см* (или 360 *м*). Выемка подвигалась на ширину планки датчика. Принудительной отрезки кровли не делалось.

При отработке модели от середины к флангам постепенно возрастало опорное давление на рудный массив (рис. 3).

Максимальное опорное давление с определенного пролета становится опасным (см. рис. 3, стадии *II* и *III*). Максимум давления 0,22—0,25 *кг/см²* граничит с пределом прочности материалов на сжатие (0,2—0,3 *кг/см²*). Таким образом, на практике, начиная с пролетов обнажения 100 *м* и более, под действием опорного давления возможны опасные деформации разрушения, сколы обнаженной поверхности рудного массива.

При обратной выемке от флангов к середине в пределах участка опорное давление на остающийся в средней части целик значительно возрастало. Вначале опорное давление распределялось почти равномерно, но по мере увеличения подрабатываемого пролета и сокращения размеров центрального целика, четко обозначилась концентрация дав-

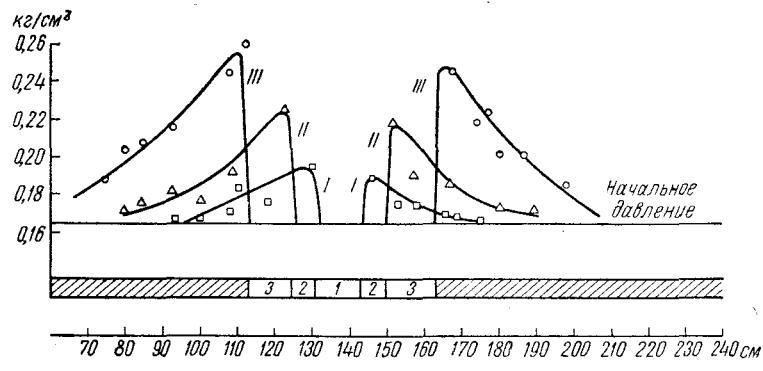


Рис. 3. Распределение опорного давления при последовательной выемке от середины к флангам:
I, II, III — стадии выемки и соответственно эпюры распределения опорного давления

ления на целик (рис. 4) и возросла вероятность разрушения целика (см. таблицу).

Максимальное опорное давление

Ширина пролета подработки, включая целик, *см*	Ширина центрального целика, *см*	Среднее максимальное опорное давление			
		на массив, *кг/см²*	% к начальному	на целик, *кг/см²*	% к начальному
61	25,0	0,187	115	0,210	130
61	12,5	0,200	120	0,240	150
61	6,0	0,250	155	0,280	175

Интенсивное возрастание опорного давления на центральный целик может привести к наступлению опасных деформаций. Если пересчитать на натуру, то можно полагать, что центральный целик шириной 50 *м* (на модели 12,5 *см*) на общем пролете подработки 250 *м* может быть раздавлен, так как величина опорного давления начинает превышать предел прочности пород, а выемка целика будет связана с большими трудностями и высокими потерями.

При прекращении отработки модели давление на целик усиливалось более интенсивно, чем на массив. При ширине целика, например, 12,5 *см* через 56 *ч* давление на него возросло на 10—12%, тогда как на рудный массив — лишь на 5—6%.

Как следует из опытов, при развивающемся горном давлении целесообразно проводить очистную выемку от середины участка к флангам. Это повышает безопасность работ и снижает потери полезного ископаемого.

Прочность барьерного целика. При исследовании прочности барьерного целика условия подобия соблюдались более точно, так как опыты, проведенные на объемных моделях, позволили взять составы эквивалентных материалов с малым содержанием парафина. Эквивалентный материал содержал 0,3% парафина, имел предел прочности при сжатии 0,13 *кг/см²* и разрыве 0,027 *кг/см²*. При масштабе моделирования 1 : 800 материал модели соответствовал породам с временным сопротивлением сжатию 200 *кг/см²*. Свойства этого материала больше соот-

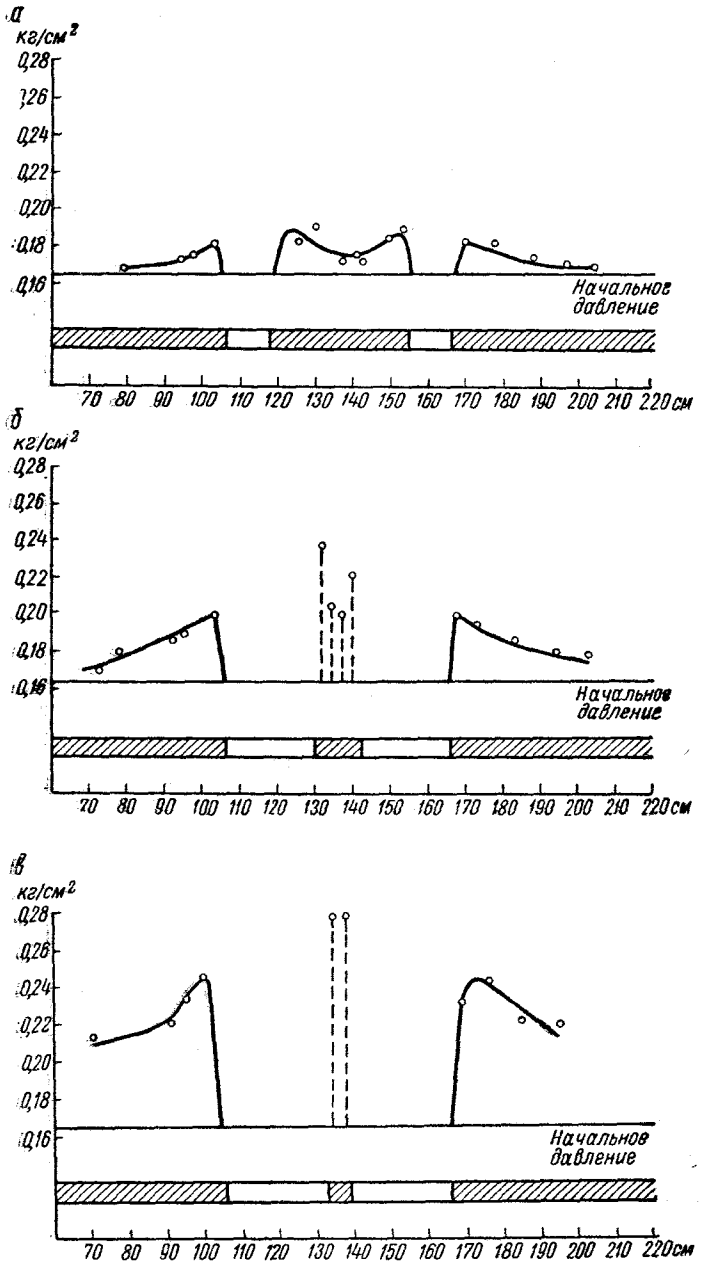


Рис. 4. Распределение опорного давления при последовательной выемке от флангов к середине при ширине целика:
а — 37 *см*; *б* — 12,5 *см*; *в* — 6 *см*

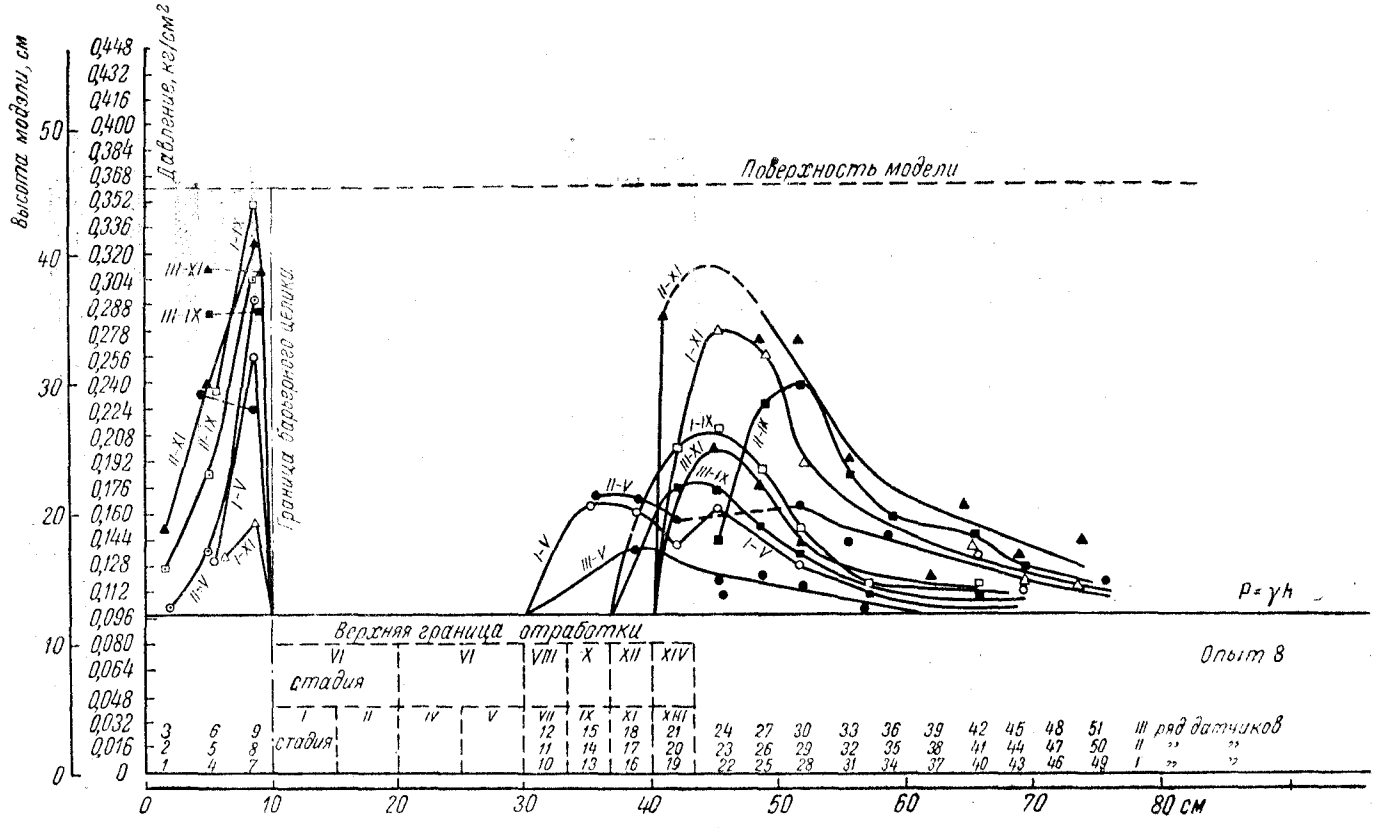


Рис. 5. Распределение опорного давления на барьерный целик и рудный массив:

I, II, ..., XIV — стадии отработки модели; *I—V, II—V, III—V, ..., III—XI* — кривые опорного давления (первая цифра означает ряд датчиков, вторая — стадию отработки)

ветствуют трещиноватому массиву, чем в приведенных выше опытах, если принять во внимание опыт моделирования отработки верхних горизонтов.

Площадь модели 120×120 *см*, высота 45 *см*. Высота вынимаемого рудного слоя 5 *см*. В процессе выемки проводилось принудительное обрушение кровли на высоту рудного слоя — на 5 *см* (40 *м* в натуре). Ширина барьерного целика 10 *см* (80 *м* в натуре).

Расположение датчиков и стадии выемки показаны на рис. 5. Датчики устанавливались в три ряда: ряд *I* (крайний) — у обнаженной стенки модели, ряд *II* — средний и ряд *III* — в глубине модели. Эпюры опорного давления на рис. 5 приведены только для стадий *V*, *IX*, *XI*.

Стадия *V* соответствует подработке на пролете 20 *см* (в натуре 160 *м*). Максимальное опорное давление на этой стадии испытывала крайняя часть барьерного целика, приходящаяся на ряд *I* датчиков (кривая *I—V*), несколько меньше — средняя и прилегающая к нетронутому массиву. Максимум опорного давления на ряд *I* датчиков превышал первоначальное (гидростатическое) давление в три раза.

В стадии *IX*, когда длина пролета стала 30 *см* (240 *м* в натуре) давление на ряд *I* датчиков превысило первоначальное почти в четыре раза. Достаточно было подвинуться выемке еще на 4 *см* (отработать слой руды над датчиками *16—17—18*, стадия *XIV*), как целик над рядом *I* датчиков был раздавлен, и давление на эту часть целика резко снизилось (кривая *I—XI*). Максимум опорного давления переместился на среднюю часть — на ряд *II* датчиков (*2—5—8*) и превысил начальное в 3,5 раза. Эта часть целика стала находиться под угрозой разрушения, что подтвердилось после подвигания выемки еще на 4 *см* и обрушения кровли (стадия *XIV*). Барьерный целик был раздавлен почти по всей длине. Был деформирован и рудный массив, прилегающий к выработанному пространству на глубину до 20 *см* (160 *м*). Обрушение налегающих пород произошло под крутыми углами (85—90°), наклоненными в сторону выработанного пространства.

Давление на массив росло менее интенсивно, но зона его распространения постепенно расширялась по мере отработки пласта. Наибольшие нагрузки приходились на ряды *I*, *II* датчиков. Если под влиянием опорного давления более слабый и податливый материал на некоторых участках выходил из-под нагрузки, давление перемещалось на соседние более устойчивые.

Заключение

Как показала практика работ на верхних горизонтах, при площади подработки 30 000—35 000 $м^2$ резко проявляется разрушительное действие опорного давления не только на целики, но и на прилегающий нетронутый рудный массив. Несколько снижается давление после принудительной посадки кровли. Нормальные условия работы создаются при достижении обрушения пород до поверхности [4, 5].

Отработка «нижнего блока» в окружении барьерных целиков будет связана с постепенным возрастанием опорного давления на барьерные целики и охранный целик над транспортными и рельсовым уклонами, которые, как показали опыты, могут деформироваться, и их последующая выемка будет связана с большими трудностями и потерями.

Наиболее правильным направлением выемки, при котором величина опорного давления на рудный массив оставалась бы приблизительно постоянной, будет, по-видимому, выемка от обрушения на горизонте 201 *м* вниз по падению без оставления барьерных целиков. Для этого необходимо форсировать очистные работы на верхних горизонтах рудника 7.

При выемке от обрушения к массиву, когда шаг обрушения налегающих пород постоянен, условия ведения очистных работ наиболее

благоприятны. В этом случае значительная протяженность фронта выемки (200—250 *м*) из-за самообрушения налегающих пород может послужить причиной отказа от принудительной отрезки [1].

На руднике в настоящее время вследствие одновременной работы верхних и нижних горизонтов принята отработка северной части «нижнего блока» сплошным фронтом по всей длине — от середины к флангам на восток и запад. Как показывают исследования на моделях, принятый порядок выемки позволит отработать наиболее мощную среднюю часть блока без опасных проявлений горного давления, но при достижении пролета подработки 100 *м* и более в процессе выемки, вероятно, возникнут нежелательные деформации прилегающего к выработанному пространству рудного массива. После отработки всей северной части «нижнего блока» барьерные целики могут быть раздавлены, а их выемка затруднена.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов Г. Н., Будько М. Н., Филиппова А. А. и Шклярский М. Ф. Изучение проявлений горного давления на моделях. Углетехиздат, 1959.
2. Городецкий П. И. О применении моделей при исследованиях в области разработки рудных месторождений. Записки ЛГИ, т. XLIV, 1961, вып. 1.
3. Городецкий П. И. Разработка рудных месторождений. Госгортехиздат, 1962.
4. Галаев Н. З., Исаев А. В. Управление горным давлением при системах с обрушением на Заполярном руднике. «Горный журнал», 1962, № 6.
5. Садовский Г. И., Пахомов А. С., Шаблыгин А. И. и др. Совершенствование технологии разработки на Заполярном руднике Норильского комбината. «Горный журнал», 1961, № 11.

[1] Такое предложение Норильскому комбинату было сделано автором совместно с М. Д. Фугзаном.