

ГЕОЛОГО-ПЛОТНОСТНЫЕ РАЗРЕЗЫ ФУНДАМЕНТА ШНГР

ИВАНОВ К. С., КНЯЗЕВА И. В., КОРМИЛЬЦЕВ В. В., ФЕДОРОВ Ю. Н.,
Уральская государственная горно-геологическая академия

Нами составлена геологическая карта фундамента Шаимского нефтегазового района (ШНГР) [1, 2], соответствующая современному объему геолого-геофизической информации. В данной работе в дополнение к карте представлены разрезы на всю мощность гравитационно активного слоя 10-12 км. Положение разрезов показано на рис. 1.

Линии разрезов проведены по возможности вкрест простирания через структуры, ключевые для понимания глубинного строения ШНГР. Интерпретация выполнена в двумерном варианте с помощью специальной программы, встроенной в ГИС ArcView. Расчетный блок программы позволяет вычислять аномалию силы тяжести и магнитной индукции для тел произвольного сечения в виде примыкающих многоугольников постоянной плотности и намагниченности с неограниченным числом вершин. Осуществлен подбор поля силы тяжести. Подбор магнитного поля не осуществлен, но кривые аномальной магнитной индукции использованы для уточнения положения границ между структурно-вещественными комплексами. Программа позволяет выносить на профиль отметки дневной поверхности, отметки структурных планов сейсмогеологических границ в осадочном чехле и поверхности фундамента, используя непосредственно соответствующие векторные темы ArcView в виде изолиний. Таким же образом получают профильные кривые магнитной индукции и силы тяжести. Кроме того, на профиль можно вынести положение геологических границ на эрозионном срезе фундамента, используя векторную карту фундамента ШНГР, построенную нами на основании изучения керна глубоких скважин с учетом гравитационного и магнитного полей. Каждый профиль помещается в отдельном виде ГИС ArcView. Средства ГИС используют и для графического вывода разрезов на бумажный носитель.

В основу интерпретации положено аномальное поле силы тяжести в редукции Графа-Хантера. Граница между осадочным чехлом и фундаментом является наиболее контрастной плотностной границей. Плотность пород чехла меняется от 1,71 до 2,51 г/см³, всегда оставаясь меньше, чем в триасовом и палеозойском комплексах. Средневзвешенная плотность всех свит (с учетом их мощности) равна 2,28 г/см³, при этом дефицит плотности $\Delta\sigma = -0,39$ г/см³. Положение кровли фундамента в Шаимском районе известно из данных сейморазведки и по отбивкам в глубоких скважинах и вынесено на интерпретационные профили. В связи с субгоризонтальным залеганием чехла, аномальный гравитационный эффект фиксируется только от локальных погружений и поднятий. Оценка по формуле для горизонтального слоя $\Delta g = 2\pi G H \cdot \Delta\sigma$ показывает, что при мощности чехла $H = 2$ км сила тяжести уменьшается на 32,7 мГл. Это существенно влияет на региональный уровень поля силы тяжести.

Породы фундамента дифференцированы по плотности (см. таблицу) и являются основным источником аномалий. Плотность образований, слагающих палеозойский фундамент, находится в прямой зависимости от основности. Плотность ультрабазитов изменяется в зависимости от степени серпентинизации. Плотность метаморфических образований, за исключением серпентинитов, зависит от состава материнских пород. Выделяют две группы гнейсов и метаморфических сланцев. Первая – гранито-гнейсы и сланцы по кислым материнским породам, плотность которых несколько превышает плотность гранитоидов. Эти гнейсы и сланцы обычно развиты в зонах поднятий в пределах крупных гранитоидных комплексов. Они обрамляют гранитные тела и иногда слагают надинтрузивную зону. Во вторую группу входят амфиболовые, биотит-амфиболовые гнейсы повышенной плотности. В пределах Шаимского НГР они имеют подчиненное значение.

На исследуемой территории расположены с запада на восток Тагильская структурно-формационная зона (на крайнем западе профиля 3), представленная палеозойскими вулканогенными комплексами, Ялбыньинско-Пониловская СФЗ Главной гранитной оси Урала, Пелымская СФЗ с Даниловским триасовым грабенем в осевой части, Шаимско-Кузнецовская СФЗ и Урайская СФЗ с Половинкинским триасовым грабенем. Поднятия (Ялбыньинско-Пониловская СФЗ, Шаимско-Кузнецовская СФЗ) представлены гранитоидами и метаморфическими сланцами преимущественно кислого состава. Они отмечаются отрицательными аномалиями силы тяжести. Погружения (Восточно-Тагильская СФЗ, Пелымская СФЗ) представлены эффузивами основного состава и терригенно-эффузивными комплексами и отмечаются положительными аномалиями силы тяжести. Урайская СФЗ выполнена преимущественно терригенно-сланцевыми (континентально-склоновыми) комплексами среднего и верхнего палеозоя. Для объяснения положительной аномалии силы тяжести в погружениях приходится предполагать в основании Пелымской СФЗ и Урайской СФЗ наличие высокоплотностных офиолитовых комплексов раннего палеозоя. На границе Пелымской СФЗ и Шаимско-Кузнецовской СФЗ эти офиолиты появляются на поверхности эрозионного среза фундамента и вскрыты рядом скважин (профиль 3 на рис. 1 и 2). Преимущественно горизонтальное расположение границ между

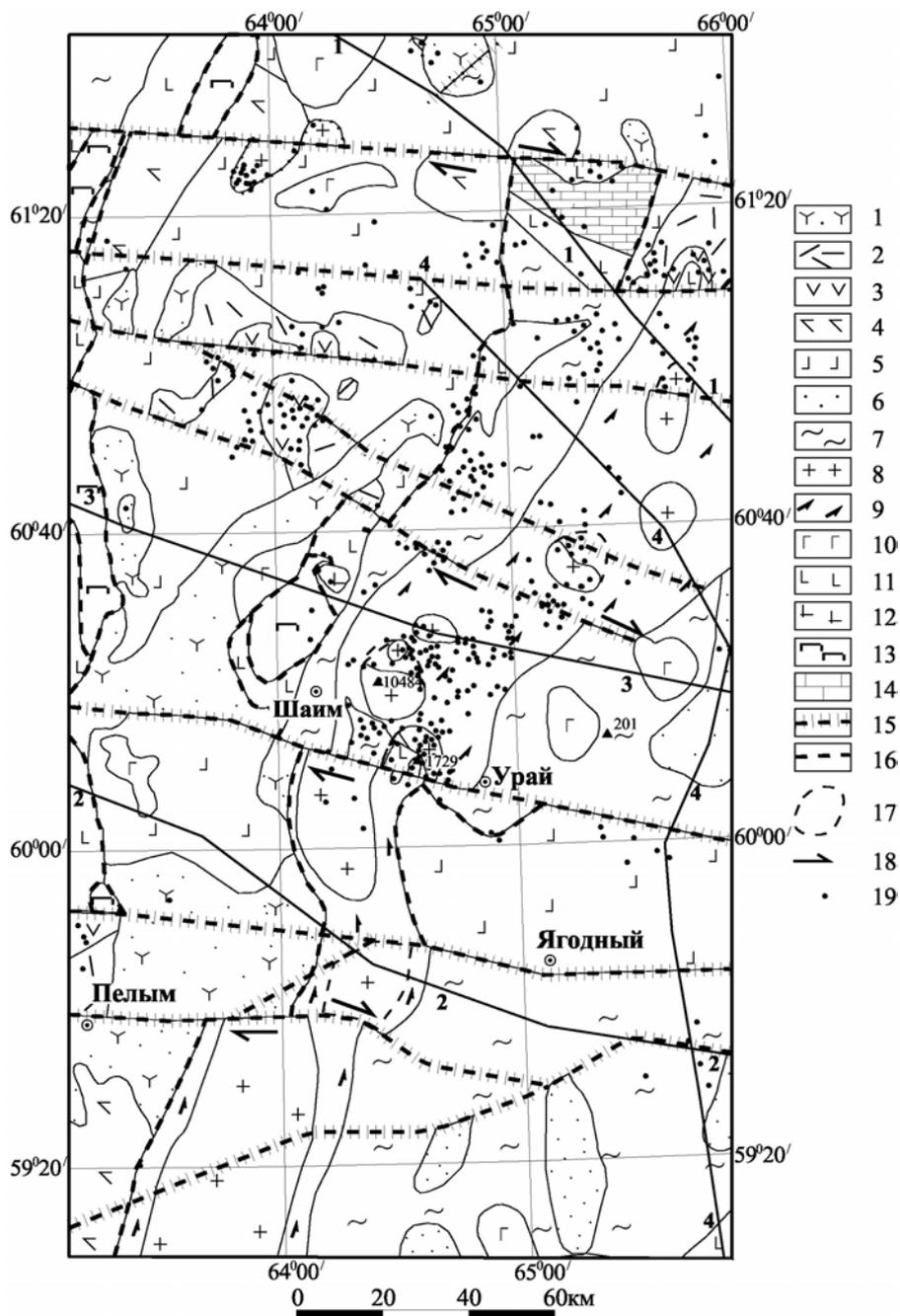


Рис. 1. Схематическая геологическая карта доюрского фундамента Шаимского нефтегазового района.
 Условные обозначения: 1 – эффузивы с преобладанием туфов смешанного состава, триас; 2 – липарит-базальтовая формация (липариты), триас; 3 – липарит-базальтовая формация (базальты), триас; 4 – нерасчлененная липарит-базальтовая формация, триас; 5 – базальты нижнего триаса; 6 – терригенные отложения карбона (угленосные?); 7 – терригенно-сланцевая формация верхнего палеозоя; 8 – гранитоиды, поздний карбон – ранняя пермь; 9 – гнейсово-сланцевое обрамление гранитоидов; 10 – габбро, габбро-долериты; 11 – порфириды и диабазы среднего и нижнего палеозоя; 12 – плагиограниты; 13 – серпентиниты; 14 – известняки среднепалеозойские; 15 – разломы и зоны дробления; 16 – тектонические контакты; 17 – контуры гранитоидов, не выходящих на предъюрский срез; 18 – сдвиги; 19 – скважины, вскрывшие фундамент

верхнепалеозойскими, среднепалеозойскими комплексами и офиолитами раннего палеозоя в Урайской СФЗ (восточные части профилей 3 и 2 на рис. 2 и 4 и южный участок профиля 4 на рис. 5) вызвано, в первую очередь, отсутствием объективной информации о более детальном расчленении пород в верхнем, среднем палеозое. Однако вероятно также, что в этом выражаются отличия в характере тектонического развития Пельымской СФЗ и Урайской СФЗ.

**Обобщенная таблица избыточной плотности
для средней плотности земной коры $\sigma = 2,67 \text{ г·см}^{-3}$
(Е. М. Ананьева, Ю. Н. Горбачев, Н. А. Туезова, С. В. Шебухова)**

Структурно-вещественные комплексы	Избыток (дефицит) плотности при интерпретации $\Delta\sigma, \text{ г·см}^{-3}$	Рекомендуемый избыток (дефицит) плотности, по петрофизическим данным, $\Delta\sigma, \text{ г·см}^{-3}$
Осадочный чехол	-0,39	-0,39
Эффузивы триаса с преобладанием туфов смешанного состава	-0,13	-0,17 ÷ -0,12
Базальты нижнего триаса	-0,06 ÷ 0,00	-0,12 ÷ -0,02
Габбро-долериты триаса	0,12 ÷ 0,23	0,23
Меланократовое основание триасового грабена	0,28 ÷ 0,30	0,28 ÷ 0,33
Гранитоиды	- 0,03 ÷ -0,012	-0,07 ÷ 0,01
Гнейсово-сланцевое обрамление гранитоидов	0,00 ÷ 0,08	-0,05 ÷ 0,10
Терригенные отложения карбона (угленосные)	0,00	-0,07 ÷ 0,03
Сланцевая формация верхнего палеозоя	0,03 ÷ 0,05	0,03 ÷ 0,06
Известняки среднепалеозойские	0,08	0,01 ÷ 0,05
Терригенно-эффузивная формация среднего палеозоя	0,05 ÷ 0,06	Мраморизованные 0,08 0,03
Вулканогенно-осадочная формация среднего и нижнего палеозоя	0,08 ÷ 0,12	0,10 ÷ 0,13
Вулканогенная формация среднего и нижнего палеозоя	0,13 ÷ 0,15	0,13 ÷ 0,18
Офиолиты раннего палеозоя (частично серпентинизированные ультрабазиты)	0,155	0,05 ÷ 0,33
Офиолиты раннего палеозоя (серпентинизированные ультрабазиты)	0,10	0,05 ÷ 0,33
Серпентиниты	-0,07	-0,09 ÷ -0,05
Офиолиты раннего палеозоя (базальты)	0,15	0,15 ÷ 0,18
Офиолиты раннего палеозоя	0,25	0,23 ÷ 0,33
Офиолиты раннего палеозоя (возможно пироксениты)	0,30	0,30 ÷ 0,45
Комплекс пород Тагильской СФЗ	0,15	0,15

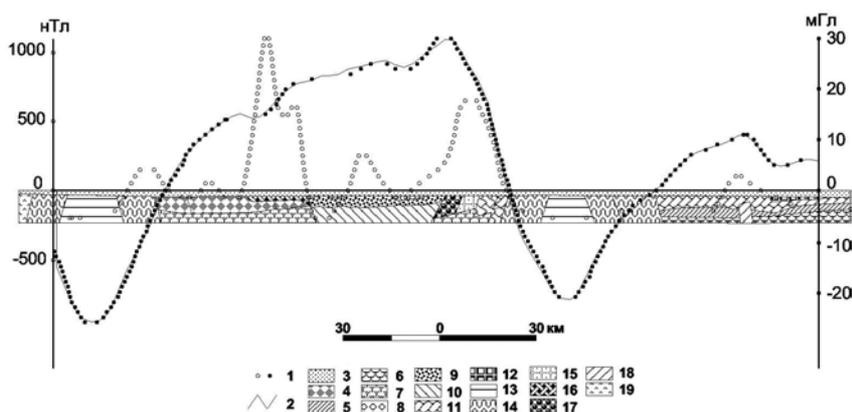


Рис. 2. Геолого-плотностной разрез по профилю 3.

Условные обозначения: 1 – экспериментальные значения аномального магнитного и гравитационного поля; 2 – модельное гравитационное поле; 3 – осадочный чехол; 4 – терригенная формация среднего палеозоя; 5 – вулканогенная формация среднего и нижнего палеозоя; 6 – офиолиты раннего палеозоя; 7 – офиолиты раннего палеозоя (возможно пироксениты); 8 – эффузивы и туфы смешанного состава (триас); 9 – базальты нижнего триаса; 10 – меланократовое основание триасового грабена; 11 – сланцевая формация верхнего палеозоя; 12 – терригенные отложения карбона; 13 – гранитоиды; 14 – сланцевое обрамление гранитоидов; 15 – офиолиты раннего палеозоя (серпентинизированные ультрабазиты); 16 – серпентинит; 17 – офиолиты раннего палеозоя (частично серпентинизированные ультрабазиты); 18 – габбро-долериты триаса; 19 – комплексы пород Тагильской СФЗ

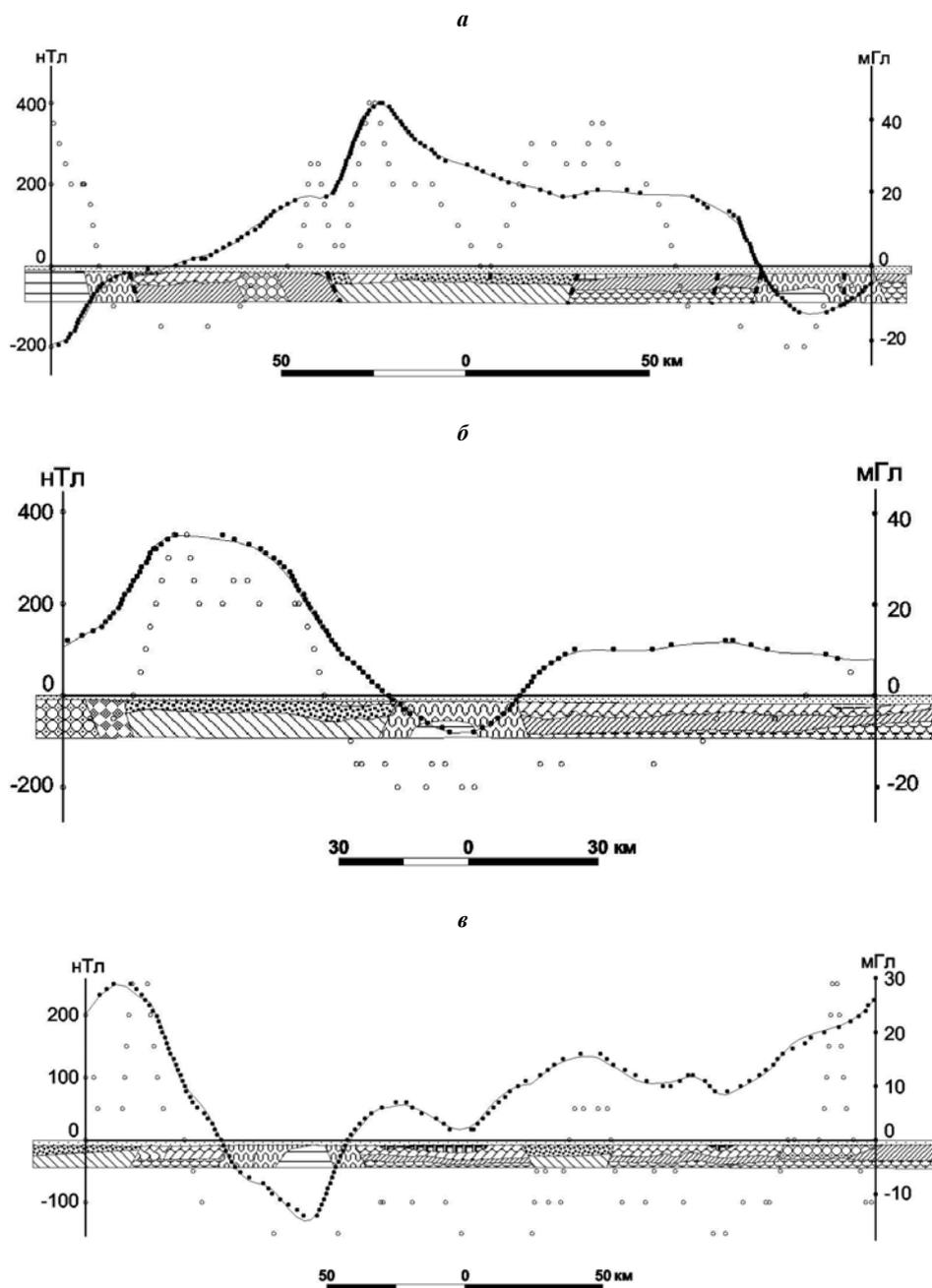


Рис. 3. Геолого-плотностной разрез по профилям 1 (а), 2 (б), 4 (в).
Условные обозначения см. на рис. 2

Положительные гравитационные аномалии характерны и для триасовых грабенов, несмотря на пониженную плотность пород триаса. Эффузивы триаса с преобладанием туфов смешанного состава характеризуются дефицитом плотности порядка $-0,13 \text{ г/см}^3$, а плотность базальтов триаса в среднем на $0,18 \text{ г/см}^3$ ниже палеозойских. По причине пониженной плотности триасовых образований здесь также приходится предполагать наличие плотного меланократового основания Даниловского (см. рис. 2, 3, а, б) и Половинкинского (середина 2, 3, а, б профиля 4 на рис. 3, в) грабенов, которое нигде не выходит на поверхность эрозионного среза фундамента, но проявляется в виде вертикальных столбообразных тел габбро-долеритов.

Структурно-тектонические соотношения триасовых грабенов с их меланократовым палеозойским основанием и массивами гранитоидов являются дополнительным аргументом в пользу связи их происхождения с рассеянным внутриконтинентальным рифтингом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Главные структурно-вещественные комплексы доюрского фундамента Шаимского нефтегазоносного района Западной Сибири* / Федоров Ю. Н., Иванов К. С., Печеркин М. Ф., Погромская О. Э., Ерохин Ю. В., Князева И. В., Калеганов Б. А. // Мат-лы IX чтений А. Н. Заварицкого. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2003. С. 80-83.

2. *Основные черты строения доюрского фундамента Шаимского нефтегазоносного района* / Иванов К. С., Федоров Ю. Н., Погромская О. Э., Ерохин Ю. В., Князева И. В., Калеганов Б. А. // Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО: Шестая науч.-практ. конф. Том 1. Ханты-Мансийск: ИздатНаукаСервис, 2003. С. 102-113

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРИСТАЛЛОВ

ШАНГИНА Е. И.,

Уральская государственная горно-геологическая академия

Нахождение симметрии кристаллов как природных, так и искусственно полученных является одной из основных задач кристаллографического исследования. Кристаллическое вещество характеризуется закономерным-дискретным строением и классифицируется с учётом отвечающих строению кристаллографических групп (или дискретных групп движений) [1]. Линейные кристаллографические группы (их известно всего семь), образующие кристаллические ряды, порождаются с помощью семи бесконечных «одномерных» групп симметрий, приведённых в табл. 1.

Таблица 1

№ п/п	Типичный узор	Образующие
1		Один параллельный перенос
2		Одна скользящая симметрия
3		Две осевые симметрии
4		Две центральные симметрии
5		Одна осевая и одна центральная симметрии
6		Один параллельный перенос и 1 осевая симметрия
7		Три осевые симметрии

В случае 3 обе оси симметрии вертикальны, одна рассекает повторяющуюся фигуру пополам, то есть переводит её в себя; другая переводит эту фигуру в одну из соседних. Таким образом, уже половина повторяющейся фигуры, расположенная между осями симметрии, порождает бесконечный одномерный ряд. В случае 4 повторяющаяся фигура уже имеет одну центральную симметрию (центр находится на пересечении диагоналей), вторая центральная симметрия, центр которой находится между этими фигурами, переводит её половину в соседнюю. В случаях 6 и 7 имеется горизонтальная ось симметрии. Для всех этих групп, кроме 1 и 2, имеется некоторая свобода в выборе образующих; например, в случаях 4 и 5 одну из двух образующих можно заменить переносом.

Два ряда определяют плоскость пространственной решетки или плоскую сетку. Бесконечные дискретные двумерные группы движений (группы симметрий повторяющихся узоров) отличаются от бесконечных одномерных групп тем, что содержат два независимых параллельных переноса, то есть переноса в неколлинеарных направлениях. Русский кристаллограф Е. С. Федоров показал, что существует в точности 17 таких двумерных групп [4]. Символы, которыми будем обозначать эти группы (табл. 2), взяты из международных таблиц рентгенокристаллографии.

17 двумерных кристаллографических групп

Обозначение	Образующие
p1	Два параллельных переноса
p2	Три центральные симметрии
p3	Два вращения на 120°
p4	Центральная симметрия и вращение на 90°
p6	Центральная симметрия и вращение на 120°
cm	Осевая и скользящая симметрии с параллельными осями
pm	Две осевые симметрии и параллельный перенос
pg	Две скользящие симметрии с параллельными осями
cm	Две осевые симметрии с перпендикулярными осями и одна центральная симметрия
pmm	Симметрия относительно четырёх сторон прямоугольника
pmg	Одна осевая и две центральные симметрии
pgg	Две скользящие симметрии с перпендикулярными осями
p31m	Симметрии относительно трёх сторон равностороннего треугольника
p3m1	Осевая симметрия и вращение на 120°
p4m	Симметрии относительно трёх сторон прямоугольного равнобедренного треугольника
p4g	Осевая симметрия и вращение на 90°
p6m	Симметрии относительно трёх сторон прямоугольного треугольника с углом 30°

Простейшей двумерной группой является группа p1 (рис. 1), порождаемая двумя независимыми переносами. Так как преобразование, обратное параллельному переносу, и произведение двух параллельных переносов также являются переносами, эта группа состоит только из параллельных переносов.

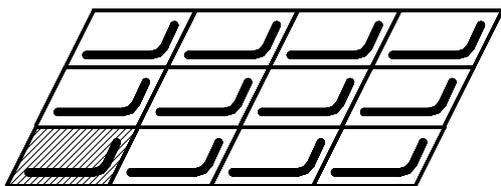


Рис. 1. Группа p1

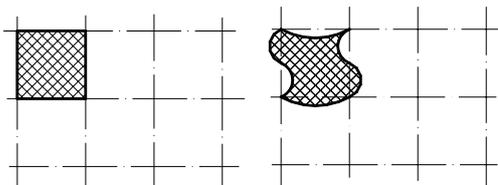


Рис. 2. Фундаментальная область

Любая фигура, например фигура, показанная на рис. 1, переводится группой p1 в бесконечное множество таких фигур, образующих двумерный узор. Обратное p1 есть полная группа симметрий такого узора при условии, что сама фигура полностью несимметрична, то есть её группа симметрий состоит из одного лишь тождественного преобразования.

Если фигура представляет собой простую точку, узор называется двумерной решеткой. Характерным свойством такой решетки является то, что прямая, соединяющая любые две точки решетки, содержит другие точки, расположенных на одинаковом расстоянии друг от друга, то есть одномерную решетку. Прямые, соединяющие узлы решетки, образуют мозаику из равных между собой параллелограммов, заполняющих всю плоскость без просветов и двойных покрытий (термин «мозаика» применяем для обозначения любого расположения многоугольников, полностью покрывающих всю плоскость и не перекрывающихся между собой, см. рис. 1). Типичный параллелограмм образован четырьмя точками. Параллельный перенос переводит этот параллелограмм в некоторый другой параллелограмм таким образом, что устанавливается взаимно однозначное соответствие между ячейками мозаики и преобразованиями группы, обладающее тем свойством, что каждое преобразование группы переводит любую точку первоначального параллелограмма в точку, аналогичным образом расположенную относительно сторон нового параллелограмма. Поэтому типичный параллелограмм называют фундаментальной областью.

Выбор фундаментальной области весьма неоднозначен. Фундаментальной областью может служить любой параллелограмм с вершинами в точках решетки, не содержащих других точек решетки внутри или на контуре [6].

Фундаментальная область не обязательно должна быть параллелограммом. Например, можно заменить пары противоположных сторон парами кривых, совмещающихся параллельным переносом (рис. 2). Однако независимо от того, является ли она параллелограммом или любой другой фигурой, имеет ту же площадь, что единичный параллелограмм.

Любая выпуклая фундаментальная область группы параллельных переносов является центрально-симметричным многоугольником (параллелограммом или центрально-симметричным шестиугольником).

Мы можем выделить среди всех параллелограммов, являющихся фундаментальными областями (см. рис. 1, заштрихованная область), приведённый параллелограмм, имеющий самые короткие стороны. Переносы вдоль этих сторон называются приведёнными образующими группы. Соединив вершины приведённого параллелограмма и пары соответствующих вершин параллелограмма, придём к мозаике конгруэнтных нетупоугольных треугольников с вершинами в точках решетки. Каждая точка решетки принадлежит шести таким треугольникам (рис. 3). Соединив центры окружностей, описанных около шести треугольников, получим область Дирихле (или «многоугольник Вороного»). Такие области в совокупности заполняют всю плоскость и являются специальным видом фундаментальной области.

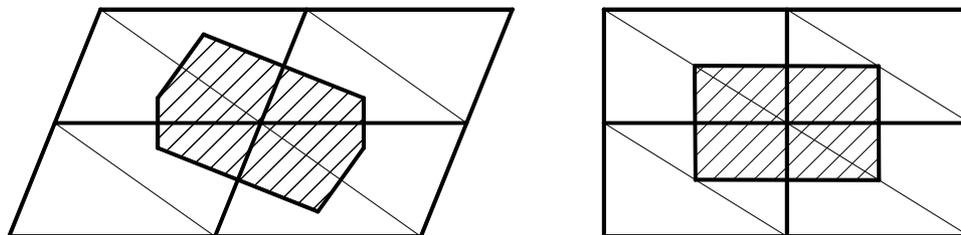


Рис. 3. Область Дирихле

Область Дирихле является центрально-симметричной. Её форма зависит от отношения длин образующих параллелограмма и угла между ними. Если этот угол прямой, то область Дирихле – прямоугольник (или квадрат). Во всех остальных случаях область Дирихле – шестиугольник (необязательно правильный, но имеющий в силу центральной симметрии равные и параллельные противоположные стороны).

Любая данная решетка симметрична относительно середины отрезка, соединяющего любые две точки решетки [2]. Середины таких отрезков образуют решетку с более мелкими клетками, у которой образующие переносы вдвое короче. В этом случае симметрии решетки исчерпываются переносами и центральными симметриями.

Другими словами, группа симметрии $p2$ (рис. 4) образуется из группы $p1$ добавлением центральной симметрии (параллельный перенос является композицией двух центральных симметрий).

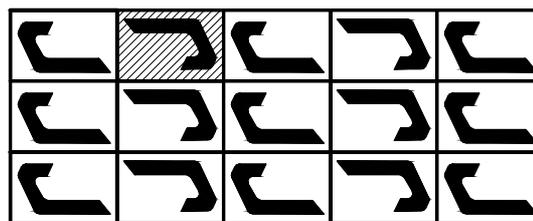


Рис. 4. Группа $p2$

Группы $p1$ и $p2$ являются двумя простейшими из 17 дискретных групп движений. Полное описание 17 двумерных групп заняло бы слишком много места. Поэтому представляется целесообразным привести только их наглядные изображения (рис. 5 – рис. 19).

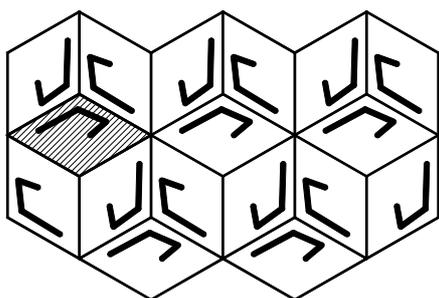


Рис. 5. Группа $p3$

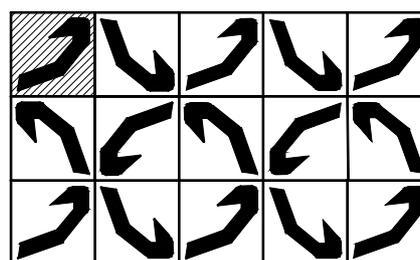


Рис. 6. Группа $p4$

Заполнение плоскости многоугольниками (см. рис. 1 – рис. 19) возможно в том случае, когда сетка состоит из параллелограммов (в частности ромбов, прямоугольных четырёхугольников, квадратов) и правильных треугольников (правильный шестиугольник складывается из шести правильных треугольников) [3].

Известно, что единственно возможные порядки осей вращения, входящих в группу симметрий решетки, равны 2, 3, 4 или 6. Из пятиугольников сетку на плоскости построить нельзя. Следовательно, ось симметрии 5-го порядка в кристаллах невозможна [5]. По той же причине невозможны и все оси порядка выше шести.

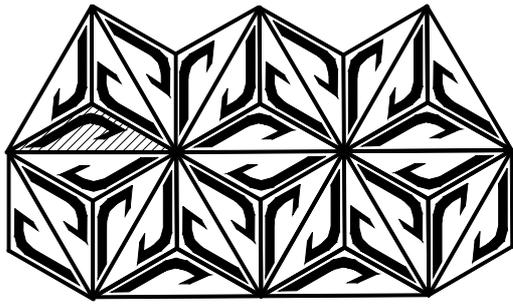


Рис. 7. Группа $р6$

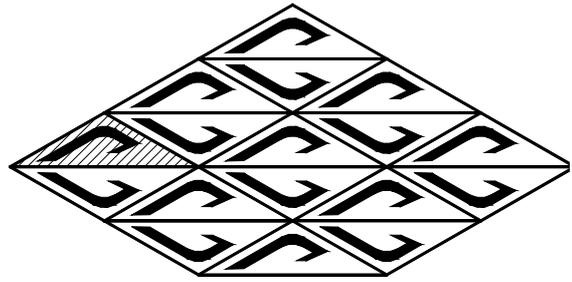


Рис. 8. Группа $сm$

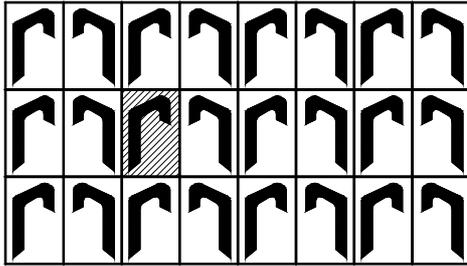


Рис. 9. Группа pm

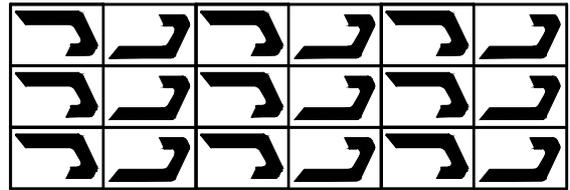


Рис. 10. Группа pg

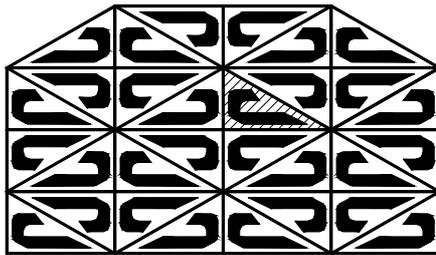


Рис. 11. Группа $сmm$

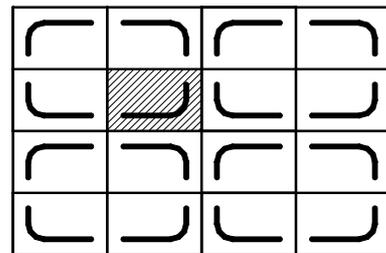


Рис. 12. Группа $pm\bar{m}$

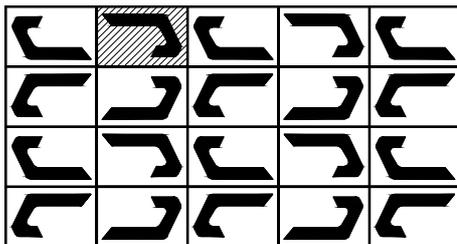


Рис. 13. Группа pmg

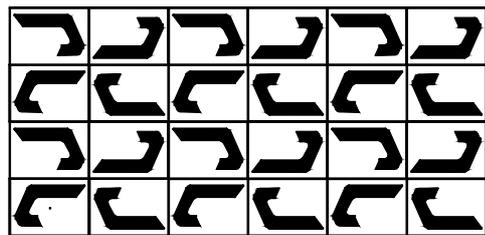


Рис. 14. Группа pgg

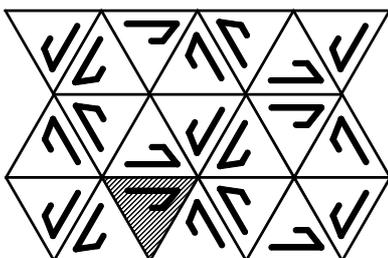


Рис. 15. Группа $р31m$

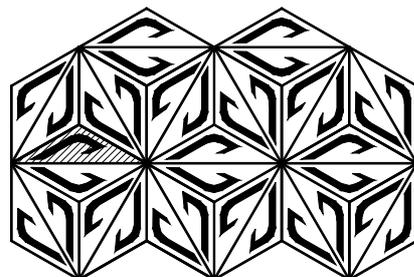


Рис. 16. Группа $р3m1$

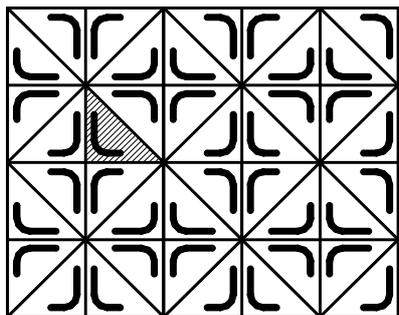


Рис. 17. Группа p4m

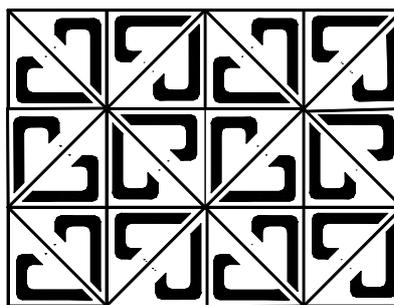


Рис. 18. Группа p4g

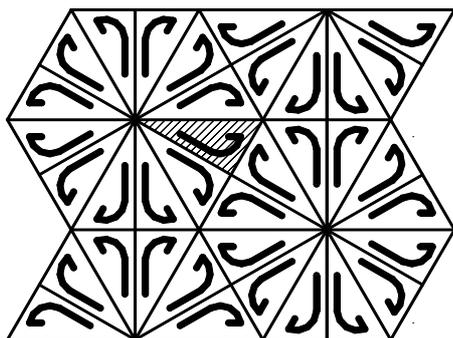


Рис. 19. Группа rhb

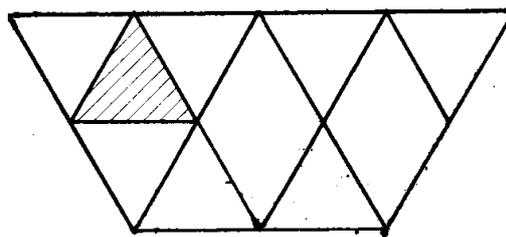


Рис. 20. Сеть T

Уравнение вида

$$\frac{1}{\alpha} + \frac{1}{\beta} + \frac{1}{\gamma} = 1,$$

где α, β, γ – порядки осей вращения, подтверждает возможные порядки осей вращения. Рассмотрим существующие вращения, при котором плоскость заполняется многоугольниками (четырёхугольниками или треугольниками), плотно прилегающими друг к другу, то есть без зазоров и наложений.

Правильный треугольник (на рис. 20 этот треугольник заштрихован) имеет ось симметрии третьего порядка. Его зеркальное отражение, то есть такой же треугольник имеет ось симметрии 3-го порядка, который переходит в себя при поворотах вокруг оси на угол 120° . Следовательно, возникает ещё ось 3-го порядка. Таким образом, получаем равенство $1/3 + 1/3 + 1/3 = 1$, то есть сеть, которую обозначим буквой T.

Далее рассмотрим квадрат, то есть фигуру, обладающую осью симметрии 4-го порядка (рис. 21).

Пристроим к исходному квадрату (показан на рис. 21 штриховкой) ещё один квадрат так, чтобы заданный квадрат переходил в другой квадрат при повороте на 180° вокруг некоторой оси 2-го порядка. Чтобы сохранить исходную симметрию заданного квадрата, необходимо окружить его ещё тремя квадратами (всего четыре квадрата). Таким образом, в этой конфигурации появляется ещё одна ось 4-го порядка, и в результате получаем равенство $1/4 + 1/2 + 1/4 = 1$, то есть сеть, обозначаемую буквой Q.

Правильный шестиугольник имеет ось симметрии 6-го порядка. Ось 2-го порядка переводит исходный шестиугольник в другой (см. рис. 22).

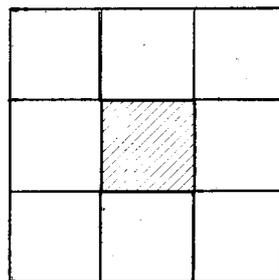


Рис. 21. Сеть Q

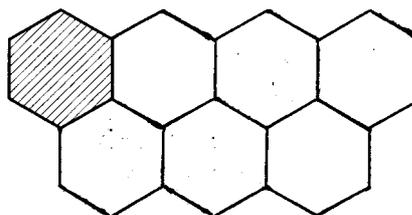


Рис. 22. Сеть S

Чтобы сохранить исходную симметрию шестиугольника, необходимо использовать ось симметрии 3-го порядка, переводящего шестиугольник в себя. Следовательно, получаем равенство для сети S: $1/6+1/2+1/3=1$.

Таким образом, единственно возможными случаями будут те, которые указаны в табл. 3.

Таблица 3

Наименование сети	$1/\alpha$	$1/\beta$	$1/\gamma$
T	1/3	1/3	1/3
Q	1/4	1/2	1/4
S	1/6	1/2	1/3
D	1/2	1/2	$1/\infty$
U	1/1	$1/\infty$	$1/\infty$

Сети U и D отвечают соответственно группам симметрий тождественного преобразования и одномерных групп движений.

Рассуждение легко закончить, показав, что сети T, Q, S отвечают группам, связанным соответственно с рис. 5 – 7.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вейль Г. Симметрия. М.: Наука, 1968.
2. Гильберт Д., Кон-Фоссен. Наглядная геометрия. М.: Наука, 1981.
3. Kepler J. Gesammelte Werke. Т. 1, 2.4. Munchen. 1938, 1939, 1941.
4. Федоров Е. С. Записки Императорского С.-Петербургского минералогического общества, 1891.
5. Флинт Е. Е. Практическое руководство по геометрической кристаллографии. М.: ГНТИЛГО, 1956.
6. Харди Г. Х. Курс чистой математики. Перевод с английского В. И. Левина, М.: ИЛ, 1949.

СОВРЕМЕННЫЕ ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В РАЗЛОМАХ ЗЕМНОЙ КОРЫ

БОЛТЫРОВ В. Б.,

Уральская государственная горно-геологическая академия

Разломы представляют собой одну из форм проявления дизъюнктивных (разрывных) нарушений. Разломы распространены повсеместно, обуславливая мозаично-блоковую структуру земной коры. Образование разломов и движения по ним происходили и происходят на протяжении всей геологической истории Земли от архея до сегодняшних дней.

Разломы выступают как дизъюнктивные границы, определяющие структурные отношения геологических тел разных порядков. На начальных этапах своего развития они рассматриваются как поверхности смещения блоков горных пород в виде сбросов, взбросов, сдвигов, раздвигов, надвигов и покровов, не имеющих толщины. Постепенно, по мере своего разрастания, неоднократной смены знака движений разломы приобретают объемность и весьма неоднозначный кинематический, структурный и вещественный состав, характеристика которых одними понятиями «сброс», «надвиг», «сдвиг» или «раздвиг» далеко не исчерпывается. Разломы образуются в результате проявления различных процессов, связанных с разломообразованием (дробление, тектоническое разлинзование, рассланцевание, милонитизация, метасоматоз, метаморфизм, внедрение магматических образований, протрузии, минерализация и т. д.).

Длина разломов по простиранию может варьировать в широких пределах: до 40 км – локальные, от 40 до 80 км – региональные, от 80 до 1000 км – генеральные и более 1000 км – глобальные, по С. И. Шерману [4]. По глубине проникновения разломов можно говорить о сверхглубинных (700-300 км), глубинных (300 км – подошва коры) и коровых разломах. Например, Ю. Я. Вашилов [2] выделяет «надгранитные», «надбазальтовые», «коровые» и «внутримантийные» разломы, обосновывая существование этих типов разломов геофизическими данными. Расчеты, проведенные этим исследователем для разных регионов России, показали, что нижние кромки масс, вызывающие гравитационные аномалии, располагаются на глубинах, соответствующих важнейшим сейсмическим разделам земной коры и поверхности Мохо. Приуроченность нижних кромок разломов и ограниченных ими блоков к сейсмическим границам Ю. Я. Вашилов объясняет активизацией вещества земных недр именно на этих уровнях. Вышележащая часть коры раскалывается под влиянием

этой активизации с образованием разломов, глубина заложения которых определяется соответствующим сейсмическим разделом.

Таким образом, разломы – это сложные геологические тела, ограниченные дизъюнктивными границами, в пространстве и во времени развивающиеся снизу вверх, к поверхности Земли. Каким образом и когда разломы выступают как факторы природного риска, под которым понимается вероятность реализации события определенного класса опасности, а под опасностью понимается источник потенциального ущерба или вреда или ситуация с возможностью нанесения ущерба?

Прежде всего с образованием разломов связана *сейсмичность*, т. е. подверженность Земли или отдельных ее территорий землетрясениям, которые по разрушительным последствиям не имеют себе равных среди опасных природных процессов. Разломообразование и сейсмичность являются итогом закономерного упруговязкого поведения земной коры и литосферы при тектонических деформациях, завершающегося колебаниями (сотрясениями) поверхности и недр Земли, или *землетрясениями*.

Кроме сейсмичности и землетрясений с разломной тектоникой тесно связана также и *вулканическая деятельность*, которая представляет существенную опасность, так как с ней могут быть связаны человеческие жертвы и огромный материальный ущерб.

Современные вулканические пояса, протягивающиеся вдоль западного побережья Тихого океана от берегов Северного Ледовитого океана до Новой Зеландии, контролируются глубинными разломами или сейсмофокальными зонами. Именно к ним приурочены очаги (гипоцентры) глубокофокусных землетрясений, что свидетельствует о генетической связи сейсмичности и вулканизма.

В России опасная вулканическая деятельность проявляется на Камчатке и Курильских островах. Сейчас на Камчатке в стадии активной деятельности находится 29 вулканов, на Курильских островах – 39. Всего на суше имеется от 450 до 600 действующих и около тысячи «спящих» вулканов. В опасной близости от активных вулканов проживает примерно 7 % населения Земли. К наиболее опасным явлениям, сопровождающим извержения вулканов, относятся лавовые потоки, выпадения вулканических материалов (бомб, лапиллей, пепла, песка), вулканические грязевые потоки, газы. При подводных землетрясениях и вулканизме часто возникают цунами и связанные с ними наводнения и разрушения на берегу.

Таким образом, разломы как протяженные и глубоко проникающие структуры, дренирующие мантийные уровни, являются «отдушинами» для подъема газово-жидких компонентов при дегазации Земли. Поднимаясь по разломам на более высокие уровни вплоть до земной поверхности, тепломассопотоки в определенных термодинамических условиях расплавляют вмещающие породы, обуславливая тем самым процессы интрузивного и эффузивного магматизма, или вулканизма.

Кроме сейсмогенных движений, сопровождающихся землетрясениями, среди современных геодинамических движений выделяются так называемые *асейсмогенные движения*. Если землетрясения обусловлены относительно кратковременными воздействиями упругих ударных волн, возникающих или в результате разрядки длительно накапливающихся тектонических напряжений в недрах Земли, или поверхностных сотрясений в результате падения метеоритов, подземных взрывов, обрушений кровли в пустотах, закачки больших объемов воды в недра и других частных, разовых причин нарушения существующего динамического равновесия, то асейсмогенные движения связаны с ротационными силами или силами притяжения Солнца и Луны.

Как отметил А. Шейдегер, одного только беглого перечня производных *ротационных сил* Земли (изменение скорости вращения Земли; скачкообразные сезонные изменения угловой скорости Земли, когда выделяется колоссальная энергия порядка 10^{27} эрг, а энергия всех землетрясений за год составляет порядка 10^{24} эрг; силы Кориолиса, полюсобежные силы Этвеша и др.) достаточно, чтобы показать, что все они сегодня вполне серьезно претендуют на роль реальных и значительных сил нашей планеты [4].

Действительно, с вращением Земли связана тенденция к образованию вихревых структур. В атмосфере и гидросфере это знакомые всем ураганы и смерчи. В литосфере в силу большой вязкости и прочности пород эта тенденция, как правило, не реализуется, хотя, как показал И. Е. Слензак на примере Украинского щита, в глубоком докембрии при ареальном метаморфизме с резким снижением вязкости пород могли образоваться огромные вихревые структуры [4]. Японцы своими многолетними наблюдениями над триангуляционными пунктами показали, что последние имеют векторы смещений, ориентированные по круговым линиям, т. е. тенденция к смещению существует в земной коре всегда.

Если в глубоком докембрии условия вязкого сдвижения горных пород под влиянием ротационных сил были широко и повсеместно распространены, то в последующие геологические эпохи в силу необратимо направленной эволюции земной коры в сторону ее консолидации и приобретения жесткости подобные условия могут появиться только в узко локализованных структурах, каковыми являются разломы земной коры. Именно в разломах под влиянием восходящих тепломассопотоков развивается приразломный метаморфизм, достигающий на прогрессивной ветви термодинамических уровней амфиболитовой фации и палингенеза. Глубоко прогретые горные породы разломов в этих условиях ведут себя как «ньютоновские жидкости» с ничтожной вязкостью, испытывая ламинарное течение. Крайняя неоднородность пород по составу, размер-

ности, вязкости в условиях сжатия и сдвигания приводит к формированию в зонах разломов мощных зон смятия.

Типичным примером зон смятия является Главный Уральский глубинный разлом (ГУГР), совпадающий с габбро-гипербазитовым поясом Урала протяженностью 2000 км, состоящим из трех сегментов – Полярноуральского (400 км), Платиноносного (900 км) и Южноуральского (700 км). Время полного разрыва континентальной коры на Урале и образование ГУГРа как рифтового раздвига – раннеордовикское. Предполагается, что глубинная зона ГУГРа геодинамически соответствует зоне субдукции (пододвигания) и позднее трансформировалась в 2000-километровый общеуральский коллизийный шов. Как отмечают Л. А. Карстен, К. С. Иванов, В. Р. Шмелев, «в зоне ГУГР тектонически «перемешаны», скучены, надвинуты ... разноформационные и разнофациальные метаморфизованные блоки. ГУГР трассируется достаточно протяженными зонами серпентинитового меланжа, содержащими в будинах фрагменты палеоостроводужных, палеоокеанических, батиальных и реже шельфовых образований» [5].

На регрессивной ветви по мере снижения геоизотерм и остывания субстрата разлома пластические деформации сменяются хрупкими, усиливается дезинтеграция, появляется раздробленность, и разлом превращается в сложное геологическое тело, характеризующееся высокой фрагментарностью, газо- и водонасыщенностью. Вещественная среда разлома чутко реагирует на воздействие внешних сил, в том числе и космических. Поэтому разломы проявляют активность, подвижность не только в период своего заложения и метаморфогенно-метасоматического преобразования субстрата в процессе приразломного метаморфизма, но и после активной геологической жизни они не умирают, а проявляют уже вторичную, или наведенную под влиянием внешних сил активность и подвижность. Так, в г. Дегтярске Свердловской области есть улица Ревдинская, застроенная в конце прошлого века добротными жилыми домами. Однако вскоре жильцов из этих домов пришлось выселять из-за непрекращающихся разрушений зданий. Оказалось, что улица расположена над Серовско-Маукским глубинным разломом, который, несмотря на то, что активно развивался только в палеозойскую эру, т. е. несколько сот миллионов лет назад, до сих пор «живет и дышит».

Деформации Земли под влиянием *лунно-солнечных притяжений* уже в XIX веке использовались для определения модуля сдвига, среднего для всего земного шара. Первые же измерения амплитуд и фаз месячных и полумесячных волн земного прилива с помощью мареографов показали, что модуль сдвига Земли превышает модуль сдвига лучших сортов стали. Эти опыты привели к заключению, что Земля тверда. Позднее эти выводы были подтверждены и развиты сейсмологами. По скоростям распространения сейсмических волн были установлены границы: коры и мантии, мантии и жидкого ядра, жидкого ядра и твердого внутреннего ядра.

В последнее десятилетие в исследованиях земных приливов наметился большой прогресс, были разработаны чувствительные спутниковые GPS-технологии, позволяющие оценить смещения точек наблюдения с точностью до $\pm 1-5$ мм. Как показали исследования Ю. А. Кузьмина, А. Д. Сушарина, Н. К. Кострюковой и О. М. Кострюкова, современные короткопериодные циклические движения с продолжительностью периодов от нескольких секунд до минуты и часа концентрируются в разломных структурах или вблизи тектонических нарушений. В результате экспериментальных исследований на Сургутском и Таркосалинском полигонах, проведенных научно-практическим центром «Геоэкология» под руководством Н. К. Кострюковой и О. М. Кострюкова, было установлено, что аварии на магистральных трубопроводах Федоровского и Таркосалинского нефтяных месторождений постоянно тяготеют к участкам, где трубопроводы пересекают локальные разломы [3]. При этом оказалось, что деформационный процесс носит регулярный характер, а резонансным является процесс прохождения по земной коре лунной приливной волны.

На основе данных, полученных при магнитоупругих, тензометрических и GPS-измерениях, было установлено, что деформационный процесс контролируется в зонах локальных разломов земной коры и подчиняется ритму лунных приливов. Как показали наблюдения, деформации, возникающие во время каждого лунного прилива и отлива, т. е. 4 раза в сутки, достаточно ощутимы и достигают в отдельных случаях до 100 мм на 100 м при измерениях на трубе и до 200 мм на 100 м – при измерениях на поверхности. Более низкие значения смещений на трубе связаны с проскальзыванием последней в торфяной подушке. При этом оказалось, что величины деформаций сравнимы с критическими для трубопроводов и выше критических для железобетонных конструкций. Повторяясь 4 раза в сутки, циклические колебания ухудшают усталостные свойства материала конструкций. В результате на участках, где развиты локальные разломы земной коры, в железобетонных конструкциях появляются трещины, а в стальных трубах ускоряется процесс коррозии, что в обоих случаях приводит к разрушению таких объектов [3].

Как показали наблюдения на Сургутском полигоне, разрушению подвергаются также любые городские сооружения и коммуникации, расположенные над локальными разломами.

Таким образом, современные геодинамические движения представлены, с одной стороны, сейсмогенными движениями, создающими разломы, а с другой – асейсмогенными движениями в виде незначительных по величине и кратковременных по времени проявления деформаций, оживляющих мозаично-блоковую структуру земной коры. Но и те, и другие представляют серьезную опасность для человека и объектов экономики, потому что предотвратить их воздействие нельзя, но защитить объекты экономики можно. Для этого

необходимо перед возведением инженерных сооружений проводить комплексные исследования с использованием геологических, геофизических, аэрокосмогеологических и других методов, которые позволили бы более продуманно размещать инженерные сооружения, жилые здания и коммуникации во избежание их неминуемого последующего разрушения.

Трагедия в Московском аквапарке, где 14 февраля 2004 г. обрушилась крыша, показала, что, прежде чем строить, нужно учитывать не только конструктивные детали проекта, но и геологические особенности фундамента. Незнание последних может привести к повторению трагедии типа Чернобыльской. До сих пор неизвестно, какими соображениями руководствовались проектировщики Чернобыльской АЭС, выбрав место под ее строительство на пересечении тектонических разломов.

И, завершая описание роли разломов в развитии опасных природных процессов, нельзя не упомянуть связь с ними так называемых *геопатогенных зон*. Геопатогенная зона в переводе с греческого означает: «место на Земле, где возникает страдание». Именно в этих «гиблых местах» зафиксированы тяжелые заболевания людей и домашних животных, количество которых в 2-5 раз превышает количество обычных заболеваний.

Влияние разломов, через которые Земля «дышит», человек ощущает порой на подсознательном уровне. Например, над разломами разного ранга отмечается увеличение автодорожных аварий (ДТП). Дорожная полиция в Германии уже давно устанавливает на участках дорог, пересекающих разломы, специальные знаки, предупреждающие об опасности. Группа исследователей Санкт-Петербурга, проанализировав 3,5 тысячи ДТП в одном из районов города, также установила, что над разломами число аварий по сравнению с обычными участками дорог увеличивается на 30-500 % от обычного числа аварий. Высказано предположение, что человек, пересекая разлом, реагирует на его аномальное магнитное поле благодаря магниторецепции. В мозгу человека, как у многих мигрирующих птиц, рыб, дельфинов и других животных, есть ферромагнитные включения, которые реагируют на аномальные магнитные поля, и человек, пересекая разломную зону, ширина которой достигает обычно несколько сот метров, может непроизвольно среагировать, провоцируя ДТП [3].

Асейсмичные разрывные нарушения, периодически обновляемые тектоническими подвижками, характеризуются повышенной проницаемостью и являются проводящими зонами для различных форм внутриземной энергии (тепло, радон, гелий, ртуть и др.). Некоторые из проницаемых зон несут на поверхность поток смешанных энергий с неясными синэнергетическими эффектами, являясь отражением сложных процессов, протекающих в недрах Земли. В настоящее время установлено, что во многих случаях эти внутриземные энергии сказываются отрицательно на биосфере в целом и на здоровье человека – в частности. Причем эти изменения происходят незаметно, коммулированно, через подсознание человека, имеют «неясную» природу и далеко не изучены [1].

Таким образом, разломы – это дренажные структуры, обуславливающие дегазацию Земли и ответственные за природные опасности: землетрясения; вулканические извержения; малоамплитудные колебательные движения, разрушающие инженерные сооружения; геопатогенные зоны, с которыми связаны многие болезни людей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Болтыров В. Б., Грачев В. А., Турчанинов М. В. Асейсмичная тектоника и связанные с ней природные риски // Материалы Всероссийской конференции «Риск-2003». М.: Изд-во РУДН, 2003. Т. 1.
2. Вацлов Ю. Я. Закономерности в распределении глубин заложения разломов // Сов. геология. 1967. № 3.
3. Кострюкова Н. К., Кострюков О. М. Локальные разломы земной коры – фактор природного риска. М.: Изд-во Академии горных наук, 2002.
4. Шейдеггер А. Основы геодинамики. М.: Недра, 1987.
5. Шерман С. И. Физические закономерности развития разломов земной коры. Новосибирск: Наука, 1977.

ПРОИСХОЖДЕНИЕ КВАРЦИТОВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ «ГОРА КАРАУЛЬНАЯ»

БОЛТЫРОВ В. Б., СЛОБОДЧИКОВ Е. А.,
Уральская государственная горно-геологическая академия

Месторождение кварцитов «Гора Караульная» находится за юго-западной окраиной г. Первоуральска и располагается в зоне Главного Уральского глубинного разлома (ГУГР), разделяющего Центрально-Уральское поднятие и Тагильскую мегазону. Зону ГУГР'а здесь выполняют отложения шайтанской свиты, представленные сланцами углисто-хлорит-серидит-кварцевого и углисто-серидит-кварцевого составов,

включающими прослойки мономиктовых и углистых кварцитов. Шайтанская свита входит в разрез среднеордовикских отложений, занимающих пограничную полосу между Центрально-Уральским поднятием и Тагильской мегазоной и включающих кроме углистых парасланцев шайтанской свиты зеленые сланцы цоизит-серицит-кварцевого и хлорит-альбит-кварцевого составов.

Кварцитовые тела месторождения имеют форму крупных линз (до 200 x 1500 м в плане), залегают согласно с текстурной неоднородностью вмещающих пород и вместе с вмещающими породами образуют моноклиналь, погружающуюся на юго-восток под углами 60-80 градусов. По латерали месторождение имеет следующее строение (от подошвы к кровле):

1 – пачка серицит-углисто-кварцевых сланцев с маломощными прослоями углистых кварцитов и сланцев серицит-хлорит-альбит-кварцевого состава мощностью 30 – 100 м;

2 – мономиктовые кварциты от белого до темно-серого цвета с маломощными и редкими прослоями углистых кварцитов и углисто-серицит-кварцевых сланцев различного состава мощностью 30 – 200 м;

3 – переслаивающиеся мономиктовые и углистые кварциты мощностью 0 – 60 м;

4 – переслаивающиеся углисто-серицит-кварцевые и хлорит-серицит-кварцевые сланцы с прослоями мономиктовых и углистых кварцитов мощностью 100 – 130 м;

5 – переслаивающиеся черные и темно-серые сланцы серицит-углисто-кварцевого и углисто-кварцевого составов с маломощными прослоями массивных мономиктовых и углистых кварцитов мощностью более 70 м.

Месторождение представлено несколькими кварцитовыми телами линзообразной формы, выходящими на земную поверхность, и обрабатывается карьерами. Северная часть месторождения, представленная линзой размером 200 x 100 м, отработана Северным карьером и в настоящее время затоплена. Южная часть месторождения, состоящая из нескольких сближенных линз размером от 50 x 200 м до 120 x 700 м, обрабатывается Южным карьером.

Рудные тела представлены мономиктовыми массивными сливными кварцитами с мелко- и среднезернистыми структурами. Размерность зернистости кварцитов от размера тел не зависит. Но есть зависимость между размером рудных тел и цветом кварцитов: крупные рудные тела представлены преимущественно белыми и светлоокрашенными кварцитами, а маломощные прослои, мелкие линзы и краевые части крупных линз сложены серыми и темно-серыми кварцитами.

Контакты рудных тел с вмещающими породами всегда резкие и сорванные. Тонкие прослои кварцитов, залегающие во вмещающих рудных телах породах, обычно будинированы. Встречаются будины-сателлиты, как бы отщепляющиеся от крупных тел.

Судя по форме будин-сателлитов, расположенных вблизи рудных тел, и по элементам залегания вмещающих пород в верхней и придонных частях Северного карьера, длинные оси рудных тел (кварцитовых линз) ориентированы субгоризонтально.

Рассмотренные особенности строения кварцитовых тел и характер взаимоотношения их с вмещающими породами на первый взгляд позволяют предположить, что кварциты могли образоваться при динамотермальном метаморфизме седиментационных высококремнистых пород, и при последующем раздавливании в зоне ГУГР'a превращены в тектонолинзы (будины). Однако анализ других особенностей строения кварцитовых тел позволяет предположить иной путь их формирования. Этими своеобразными особенностями строения являются:

1 – моноклинальность залегания кварцитовмещающей толщи;

2 – характер пространственных взаимоотношений кварцитовых тел с текстурной неоднородностью вмещающих пород;

3 – различие уровня метаморфизма вмещающих пород и кварцитов;

4 – степень кристалличности углеродистого вещества;

5 – строение тектонических брекчий, слагающих краевые зоны кварцитовых тел.

1. Кварцитовмещающая толща имеет моноклинальное залегание на большом протяжении вкрест ее простирания. И если учесть, что мощность слоя (или толщи) в норме отличается от его размеров в ширину и в длину на порядки, то при мощности хотя бы в 1 км кварцитовмещающая толща должна была погружаться и восстанавливаться от земной поверхности минимум на десятки километров, что реально невозможно себе представить. Признаки же крупной складчатости, способной путем многократных изгибов «укоротить» толщу в направлении погружения и восстановления, отсутствуют. Наблюдаемая в породах мелкая складчатость (плойчатость) является складками течения и не отражает наличие крупных складок такой же морфологии.

Таким образом моноклинально залегающая кварцитовмещающая толща – порождение крупного разлома (ГУГР'a), и ее текстурная неоднородность является не седиментационной, а наложенной деформационной (метаморфической).

2. Кварцитовые линзы месторождения, как было указано выше, в общем залегают согласно со сланцеватостью вмещающих их пород. Но детальный анализ текстурной неоднородности вмещающих пород позволил выявить особенности их строения, указывающие на сложный характер взаимоотношений кварцитовых линз с этой текстурной неоднородностью.

Местами, особенно в лежащем боку Северной кварцитовой линзы, встречаются пачки безуглеродистых хлорит-серицит-кварцевых сланцев, залегающих согласно с общим моноклиальным рассланцеванием кварцитомещающей толщи. Четко проявленная полосчатость этих пород смята в мелкие складки с субгоризонтальными шарнирами. Эта плейчатость имеет различную вергентность (сбегания и набегания), и при этом иногда в одной и той же тоненькой пачке пород наблюдаются плавные переходы по падению (восстанию) пачки складочек с одной вергентностью в складки с другой вергентностью. Это, видимо, отражает раздавливающую (но не однонаправленно-трансляционную) природу напряжений, сформировавших эту плейчатость. Часто тонкие пачки пород с противоположной вергентностью разделены согласными с полосчатостью и слабой сланцеватостью мелкими разрывами, что создает впечатление толщи, состоящей из совмещенных по разрывам пакетов пород со складками разной вергентности. В этих породах наблюдаются обилие мелких метаморфогенных жилков гранулированного кварца, ориентированных параллельно полосчатости, и сминаемых вместе с нею в отмеченную мелкую плейчатость. Это указывает на то, что описываемая плейчатость является не первичной седиментационной, а наложенной деформационной (метаморфической) и, являясь составной частью описанной выше моноклинали, сама имеет приразломное происхождение. В таком случае кварцитовые линзы, кажущиеся согласными и конседиментационными, на самом деле являются секущими относительно переработанной и переориентированной в приразломной зоне первичной (седиментационной) неоднородности.

3. Если считать кварциты и вмещающие их породы региональнометаморфическими, то уровень метаморфизма вмещающих кварциты углистых хлорит-серицит-кварцевых и серицит-кварцевых сланцев нельзя считать изофациальным залегающим среди них кварцитам. Это следует из того, что опыт изучения высокометаморфизованных комплексов показывает: углеродистые кварциты при региональном метаморфизме даже на уровне эпидот-амфиболитовой фации обладают структурой не крупнее мелкозернистой. Кварциты же месторождения «Гора Караульная», будучи часто среднезернистыми и приближающимися к крупнозернистым, имеют облик пород не ниже амфиболитовой фации метаморфизма. Это несоответствие легко можно объяснить метасоматической природой кварцитов, образованных по породам, метаморфизованным в условиях низшей субфации зеленосланцевой фации. Довольно часто наблюдающееся отщепление мелких линз от более крупных, легко объяснимо в случае седиментационного происхождения кварцитов фациальным замещением пород в слоистой толще, в случае принятия их метасоматического происхождения также легко объясняется дискретностью проявления метасоматоза в метаморфизируемой толще.

4. Исследователи, описывающие месторождение «Гора Караульная» и вообще шайтанскую свиту, черный цвет пород объясняют примесью углистого вещества. И если для вмещающих кварциты хлорит-серицит-кварцевых сланцев это является нормальным, то для среднезернистых кварцитов с обликом пород амфиболитовой фации метаморфизма примесь в них углистого вещества является ненормальным явлением, поскольку известно, что степень кристалличности углеродистого вещества зависит, в первую очередь, от температурных условий метаморфизма [4]. В породах эпидот-амфиболитовой и более высоких фаций метаморфизма, какими по виду можно считать кварциты (принимая их региональнометаморфическими), оно должно быть явнокристаллическим (размер чешуек около 0,01 мм) и являться графитом. Выходом из затруднительного положения здесь также является признание метасоматической природы кварцитов: в условиях достаточно низкотемпературного кремнистого метасоматоза кварциты образовались по слабо метаморфизованным вмещающим породам, содержащим акристалличное (пелитоморфное) углеродистое вещество, сформировав неравновесный парагенезис с углистыми сланцами.

Не без основания можно также предположить, что и углеродистое вещество явилось продуктом метасоматоза, но уже углеродистого. На месторождении «Гора Караульная» черные, наиболее углеродистые породы являются и наиболее рассланцованными с замаскированными признаками додеформационной неоднородности (под додеформационной неоднородностью здесь понимается любая текстурная неоднородность, на которую накладывается позднее рассланцевание, сопровождавшееся будинированием кварцитовых тел). Наоборот, все безуглеродистые породы месторождения являются менее рассланцованными и обладают додеформационной полосчатостью. Отсюда следует, что углерод приурочен к наиболее деформированным и проницаемым для углеродсодержащих гидротерм породам. Это предположение подтверждается также приуроченностью углеродистой шайтанской свиты к зоне ГУГР_а на большом его протяжении.

5. Характерной особенностью кварцитовых линз является наличие в их периферических частях своеобразных тектонических брекчий, у которых угловатые обломки углисто-серицит-кварцевых сланцев (фактически филлитов) погружены в массивный кварцитовый матрикс. Мощность зон таких тектонических брекчий может достигать 1-2 метров. Эти тектонические брекчии чаще приурочены к мелким кварцитовым линзам, а иногда образуют самостоятельные сильно вытянутые линзообразные (иногда пластообразные) тела мощностью до 3-4 метров. Размер обломков филлитов в брекчии может варьировать от 30 до 1 мм, а количество – от 50 до 0,5 %; при этом и размер, и количество обломков характеризуются выдержанностью в пределах какого-то локального объема (одного некрупного кварцитового тела, одного зальбанда, или его части, более крупного тела). Тектоническая брекчия с размером обломков 1 – 3 мм и при их количестве около 1 % имеет вид массивного кварцита с равномерно рассеянной вкрапленностью черного или темно-серого сили-

катного материала. Такие тектонические брекчии («вкрапленные кварциты») чаще приурочены к периферическим частям крупных кварцитовых линз. Только наличие постепенных переходов от крупнообломочных тектонических брекчий нормального облика к «вкрапленным кварцитам» позволило выяснить природу последних.

Подобные, обратные нормальным по соотношению хрупкости-пластичности взаимоотношения пород, но в будинаж-структурах (где, к примеру, будины сложены мраморами, а вмещающими их породами являются кварциты) описаны в гранулитовых комплексах щитов древних платформ. Считается, что такие будинаж-структуры формируются в условиях инверсии реологических свойств образующих их пород. Сущность процесса состоит в том, что повышение давления и температуры (комплексно или отдельно) при прогрессивном метаморфизме усиливает пластические свойства участвующих в процессе разных пород с разной скоростью. В итоге может возникнуть ситуация, когда первоначально более вязкие (жесткие) породы обгоняют по способности к пластической деформации первоначально более пластичные, но имеющие меньшую скорость нарастания пластичности при увеличении термодинамических параметров процесса. И тогда возникают будинаж-структуры описанного выше вида.

Можно предположить, что в условиях инверсии свойств могут возникать и тектонические брекчии, если в зоне интенсивного сжатия отдельное высокопластичное тело, быстро растекаясь, увлекает за собой более хрупкие окружающие породы, дробя их и растаскивая.

Можно также предположить, что подобные условия могли быть созданы на стадии интенсивного сжатия в зоне ГУГР^а, где уже имелось сформированное метасоматическим путем крупное плитообразное тело кварцитов. Пластически деформируясь при раздавливании и будинировании, оно вызвало дробление и контаминацию вмещающих его более жестких хлорит-серицит-кварцевых сланцев. Так, по периферии кварцитовых тектонолинз сформировались необычные тектонические брекчии с кварцитовым цементом – кварцитобрекчии.

Однако можно предположить и иной механизм формирования кварцитов и кварцитобрекчий месторождения «Гора Караульная».

Важной особенностью кварцитобрекчий является «взвешенное» состояние включенных в нее обломков. Подобные образования вообще-то довольно широко распространены среди тектонитов: это тектонические брекчии на гидротермальном цементе. В общем случае такие брекчии располагаются в разрывах растяжения, где они выполняют пространство между раздвинутыми блоками. Обломки раздробленных пород в таких брекчиях часто не соприкасаются друг с другом и находятся во «взвешенном» состоянии в цементирующей их массе. Цементом таких пород может быть гидротермальное вещество кварцевого, эпидот-кварцевого, кальцит-кварцевого и другого состава. Непонятным здесь является механизм поддержания во взвешенном состоянии обломков раздробленных пород, пока цементирующее их вещество осаждается из просачивающихся (протекающих) по разрыву гидротермальных растворов. Геологи как-то не уделяли внимания выяснению механизма этого процесса, и лишь в недавнее время появились работы, описывающие такие образования и механизм их возникновения [1, 2, 3]. Тектониты с гидротермальным цементом в этих работах отнесены к флюидизитам, а механизм их формирования принимается многоступенчатым при значительной роли в нем катаклаза пород в разрывных структурах, метасоматоза и кристаллизации из истинных и коллоидных растворов. Многие вопросы систематики и формирования флюидизитов пока не ясны, поэтому, не вступая в дискуссию по ним, мы попытаемся лишь предложить в свете данной проблемы возможный вариант формирования кварцитов и связанных с ними кварцитобрекчий на месторождении «Гора Караульная».

Для решения этого вопроса требуется определить источник кварцевого материала, способ его транспортировки к нынешнему месту расположения и механизм отложения.

Учитывая высокую пластичность кварцевого материала, способного захватывать обломки вмещающих пород и поддерживать их во взвешенном состоянии, эта субстанция должна быть либо гелеобразной, либо расплавом. В первом случае из гелеобразного материала после раскристаллизации кварца должна была высвободиться вода, которая непременно бы вызвала различные преобразования вмещающих пород. На месторождении около кварцитовых тел гидротермально-измененных пород не наблюдается. Откартировано только незначительное прокварцевание вмещающих пород в промежутке между Южной и Северной линзами, преимущественно висячем боку кварцитовмещающей толщи. Можно предположить, что субстрат кварцитов, перемещенный к месту нынешнего его нахождения, был расплавом.

Тогда возникает вопрос: как же образовался кварцевый расплав? Путь решения этого вопроса можно найти в работе Колясникова Ю. А. [5]. Наряду с другими вопросами, автор работы рассматривает условия образования и дальнейшей эволюции магматических расплавов. Степень подвижности расплавов и их сиализации он связывает с воздействием на расплавы ионизированного водорода, поступающего из ядра Земли. При этом взаимодействии (протонной активации) происходит разрыв ионных связей Me – O и отчасти мостиковых силиконовых связей Si – O – Si с заменой кислорода группой (OH). В результате образования электронейтральных кремнегидроксильных тетраэдров Si(OH)⁰₄, размер которых лишь немного больше размера молекул воды, расплав становится почти таким же текучим, как вода. При длительном существовании маг-

матического очага это способствовало разделению его на водород-кремнистую и рудную части^{*}, а затем, во время одной из стадий растяжения в зоне ГУГР^а, подъем водород-кремнистого расплава в верхние части земной коры. Высокая температура перемещающегося расплава поддерживалась за счет экзотермической реакции перехода ионизированного водорода в атомарный при температуре 1200 °С. Достигая верхней части земной коры, расплав охлаждался, но следующая экзотермическая реакция перехода атомарного водорода в молекулярный при температуре 700° поддерживала его в высокотекучем состоянии, в котором он внедрялся во вмещающие породы, разрывая и контаминируя их и, таким образом, насыщая периферические части расплавленных инъекций породным микститом. Такой механизм взаимодействия расплава с вмещающими породами объясняет более или менее равномерный размер обломков в пределах одного кварцитового тела, а в ряде случаев – интенсивную диспергированность филлитов (вплоть до псаммитовой размерности). После удаления из расплава молекулярного водорода в нем восстанавливались разорванные водородом силоксановые связи, расплав терял текучесть, быстро «схватывался» и успевал раскристаллизоваться только в мелко- и среднезернистый кварцит. Небольшая часть высвободившегося молекулярного водорода, возможно, связывалась с кислородом и в виде гидротерм, насыщенных кремнеземом, могла формировать зоны прокварцевания над верхними выклиниваниями кварцитовых тел. Последующее сжатие в зоне разлома приводило к будинированию кварцитовых тел, отщеплению от них мелких фрагментов, «зализыванию» и расплющиванию кварцитообрекчий при обтекании кварцитовых линз вмещающими, теперь уже более пластичными, чем кварциты, филлитами.

Из предложенных двух способов образования кварцитов месторождения «Гора Караульная», на наш взгляд, флюидизитовый, хотя и является пока непривычным и содержит умозрительные допущения, больше соответствует проявляющимся особенностям строения кварцитовых тел и характеру их взаимоотношений с вмещающими породами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Дерябин Н. И.* Флюидизиты докембрия. Киев: Изд-во Геоинформ Украины, 1997. 171 с.
2. *Иванкин П. Ф., Назарова Н. И.* Проблема восстановительного метасоматоза // *Метасоматизм и рудообразование*. М.: Недра, 1984. С. 114-121.
3. *Иванкин П. Ф.* Флюидно-магматогенные колонны глубинных разломов и прогноз оруденения // *Глубинные условия эндогенного рудообразования*. М.: Наука, 1986. С. 103-113.
4. *Кейльман Г. А., Паняк С. Г.* Графит – индикатор температурных условий регионального метаморфизма // *Геология метаморфических комплексов Урала*: Тр. Свердл. горн. ин-та, вып. 108. Свердловск, 1974. С. 55-58.
5. *Колясников Ю. А.* Проблемы магматизма и эволюции вещества Земли / Магадан, 1989. 78 с. (Препринт / СВКНИИ ДВО АН СССР).

СОСТОЯНИЕ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ В УРАЛЬСКОМ ФЕДЕРАЛЬНОМ ОКРУГЕ, ДИНАМИКА ДОБЫЧИ И ВОЗОБНОВЛЕНИЯ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ

РЫЛЬКОВ С. А., ВОРОЖЕВ Е. С., АЛЕШИН Б. М.,

Департамент государственного контроля по Уральскому федеральному округу

В соответствии с Энергетической стратегией России на период до 2020 г., утвержденной 28.08.2003 г., Правительством РФ поставлена задача увеличения производства первичных энергоресурсов по стране на 20 % к 2010 г. и на 50 % к 2020 году, в т. ч. увеличить добычу нефти к 2020 г. на 20-30 %, газа на 10-20 %.

Сегодня крупнейшим в стране и значительным в мире ресурсным потенциалом углеводородного сырья располагает только Уральский федеральный округ (рис.1). Здесь сосредоточено порядка 8 % мировых суммарных ресурсов нефти и 24 % мировых суммарных ресурсов газа. Во всероссийском масштабе запасы Уральского федерального округа составляют 66,7 %, газа – 77,8 %. Годовая добыча углеводородов здесь составляет: нефть – 63 и 7 %, газ – 90 и 25 % от общероссийской и мировой добычи соответственно.

^{*} В защиту высказанного предположения о разделении расплава на водородно-кремнистую и рудную части можно привести описанные Дерябиным Н. И. магнетитовые и мартитовые флюидизиты [1], а также известное геологам излияние магнетитовой лавы из одного из средиземноморских вулканов.

Кроме углеводородов на территории Уральского федерального округа разведаны и эксплуатируются твердые топливно-энергетические ресурсы: каменный уголь, торф, уран.

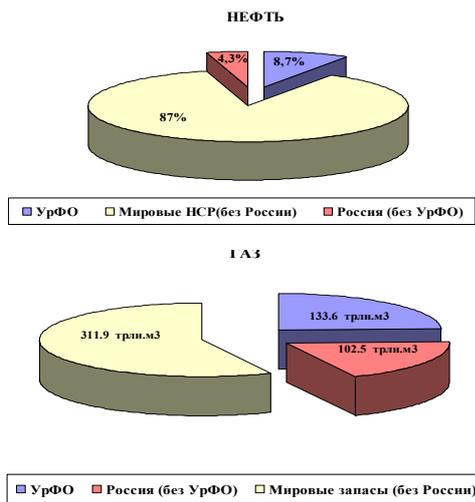


Рис. 1. Начальные суммарные ресурсы углеводородов

Уголь

Балансовые запасы угля в пределах УрФО составляют: по сумме кат. А+В+С₁ – 1092,3 млн т (в т. ч. утвержденные в ГКЗ (ТКЗ) – 499 млн т), кат. С₂ – 861,9 млн т. В общероссийском масштабе это порядка 0,3 %. Запасы угля сосредоточены в Челябинской области – 511,4 млн т и в ХМАО – 457,4 млн т, в Свердловской области – 123,6 млн т. Прогнозные ресурсы угля категорий Р₁ + Р₂ + Р₃ УрФО составляют порядка 21,6 млрд т, или 0,7 % от общероссийских.

Добыча угля в 2002 г. по УрФО составила 3,6 млн т, или 0,32 % от балансовых запасов. Однако потребности промышленности и энергетики Уральского федерального округа в угле значительно выше, чем годовая добыча, практически на порядок. Закупки угля в основном ведутся в Кузнецком и Экибастузском бассейнах. Основная причина этого в том, что запасы большинства месторождений угля в округе значительно отработаны. Другие месторождения угля невелики по запасам, что в совокупности

определяет высокую себестоимость добычи 1 т угля (Свердловская область – Волчанское месторождение – открытые работы около 200 руб., по шахте «Буланашская» 1800 руб.; Челябинская обл. – открытые работы 340 руб., шахтная добыча 570 руб). Отсутствие привлекательности в разработке имеющихся запасов угля объясняет практическое прекращение геологоразведочных работ на этот вид полезного ископаемого со стороны недропользователей.

Торф

Балансовые запасы категорий А+В+С₁ торфа по Уральскому федеральному округу распределены в 1405 месторождениях и составили на 01.01.2003 г. 3722 млн т, или же 19,6 % от общероссийских. Кроме того, на балансе числятся еще 3616 млн т запасов категории С₂, плюс забалансовые запасы в количестве 886 млн т. Порядка 50 % от всех запасов высших категорий расположены на территории юга Тюменской области – 223 месторождения (здесь находится крупнейшее в мире уникальное Васюганское месторождение, имеющее распространение за пределы округа в Томской, Омской и Новосибирской областях). 8,5 % общероссийских запасов торфа расположены на территории Свердловской области – 9917 месторождений). Балансовые запасы в остальных субъектах Федерации в сумме составляют менее 1 %. Прогнозные ресурсы торфов федерального округа, размещенные в 3660 месторождениях и проявлениях, составляют по сумме категорий Р₁+Р₂+Р₃ 76374 млн т.

Добыча торфов в федеральном округе ведется только в Свердловской и на юге Тюменской областей. Объем годовой добычи невелик – 68 тыс. т (2,6 % от общероссийской). Основной объем добычи приходится на Свердловскую область – 52 тыс. т. Геологоразведочные работы на торф сегодня не ведутся.

Уран

На территории Уральского федерального округа балансовые запасы гидрогенного урана известны в Курганской области (Долматовское, Хохловское месторождения). Запасы невелики: 2 % в общем балансе страны.

В последние годы разведанные запасы гидрогенного урана Далматовского месторождения были вовлечены в промышленную эксплуатацию. Ежегодная добыча соответствует уровню запасов и, кроме того, составляет приблизительно 34-40 % от проектной мощности.

По урану за счет федерального финансирования в 2003 г. проводилась доразведка Хохловского месторождения и поисковые работы на других перспективных объектах. По результатам работ за 2003 г. ожидается прирост прогнозных ресурсов гидрогенного урана в объеме около 30 тыс. т. В 2004 г. планируется продолжение работ, практически в тех же масштабах.

Углеводороды

Ежегодная добыча углеводородов в последние годы постоянно растет. В качестве примера можно проследить динамику добычи в Уральском федеральном округе газа за период с 1990 по 2003 гг. (рис. 2).

Обеспеченность разведанными запасами нефти, при сохранении уровня добычи по территории федерального округа, – 35-40 лет, однако, с учетом того, что большую часть промышленных запасов уже сегодня следует отнести в разряд «трудноизвлекаемых», обеспеченность добычи разбуренными запасами высших категорий А+В составляет 9-10 лет, плюс запасы категории С₁, по мере их разбуривания, – 11-15 лет, суммарная обеспеченность добычи нефти по округу разведанными активными запасами промышленных категорий не превышает 20-25 лет. Обеспеченность запасами газа – 65 лет. В целом для Уральского федерального округа, при существующих разведанных запасах УВ-сырья в количестве 46 млрд т у. т. и при ежегодной добыче порядка 850 млн т у. т., средняя обеспеченность запасами условного топлива составит не менее 50 лет.

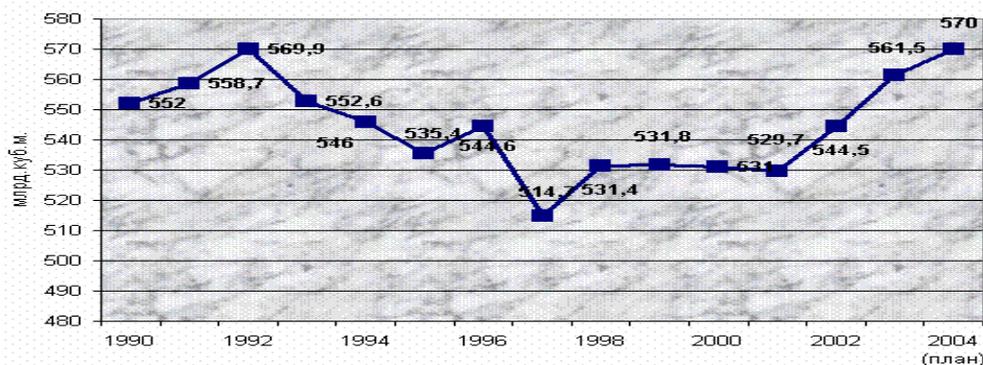


Рис. 2. Динамика добычи газа по Уральскому федеральному округу

Таким образом, Уральский федеральный округ имеет все возможности обеспечить основной объем добычи энергетических ресурсов на ближайшие двадцать-тридцать лет в соответствии с Энергетической стратегией России до 2020 г.

Однако для сохранения в течение этого периода Уральского федерального округа в качестве основной топливно-энергетической структуры России необходимо постоянное восполнение добываемого сырья, в первую очередь углеводородов, так как привлекательность твердых топливно-энергетических ресурсов в федеральном округе очень незначительна, ввиду чего в последние годы падают объемы добычи угля и торфа.

Восполнение минерально-сырьевых ресурсов для Западно-Сибирской нефтегазовой провинции – вопрос непростой. Изучение этой самой богатой провинции России в течение 50 лет позволило перевести 48,5 % НСР нефти в запасы категорий А+В+С₁+С₂ (по ХМАО) и 46 % НСР газа – в запасы категорий А+В+С₁+С₂ (по ЯНАО). Таким образом, фонд легкооткрываемых уникальных и крупных месторождений здесь исчерпан. Новые (не открытые еще) объекты, как правило, средние и мелкие (по запасам) месторождения и залежи. Поэтому одним из условий обеспечения прироста запасов является ежегодное увеличение объемов производства геологоразведочных работ, а также совершенствование их научного обоснования за счет развертывания НИР и НИОКР.

Результативность геологоразведочных работ на нефть и газ определяется приростом запасов при открытии новых месторождений или новых залежей. Ежегодно на территории Уральского федерального округа открывают порядка двух десятков мелких, редко средних месторождений и до 50 залежей на фланговых частях или на глубоких горизонтах уже известных месторождений. Так, в целом за 2003 г., на территории Уральского федерального округа было открыто 16 новых месторождений УВ-сырья и выявлено более 40 залежей нефти и газа со средней оценкой по промышленным категориям 2-5 млн т нефти и до 3-5 млрд м³ газа. Введено в глубокое бурение более 30 перспективных структур. Прирост запасов по Уральскому федеральному округу за 2003 г. ожидается в объеме порядка 620 млн т условного топлива.

Производство геологоразведочных работ, несмотря на успехи в разработке новых современных методов и методик, продолжает оставаться высокозатратным. Ежегодно увеличивается стоимость одного метра поискового и разведочного бурения, одного погонного километра двухмерной сейсмоки и одного квадратного километра трехмерной сейсмоки. Поэтому очень остро стоит вопрос о финансировании геологоразведочных работ.

Практика 12-летнего периода платного недропользования показала, что в условиях постоянно меняющегося законодательства в части финансирования геологоразведочных работ (для возобновления минераль-

но-сырьевой базы) невозможно рационально использовать недра и вести планомерную работу по приросту запасов углеводородов в Уральском федеральном округе. Даже наличие такого, казалось бы, решающего все задачи финансирования геологоразведочных работ налога, как налог на ВМСБ, не привело к ожидаемым результатам по причинам не всегда целевого расходования средств, а также непомерному завышению отдельными компаниями стоимости единицы проводимых ими геологоразведочных работ.

Сегодня в новых условиях налогообложения (с 01.01.2002 г.) финансирование геологоразведочных работ за счет части консолидированного налога на добычу официально не прописано, однако, если раньше компании имели возможность оставлять себе на геологоразведочные работы до 50 % от ставки ВМСБ, расходуя эти средства под контролем территориальных органов МПР России, то с 2002 г. консолидированный налог на добычу фактически оставил им эти же средства, но уже без жесткого контроля за их расходом.

Подводя итоги геологоразведочных работ на территории УрФО, можно отметить наметившиеся как положительные, так и негативные аспекты в этой сфере деятельности.

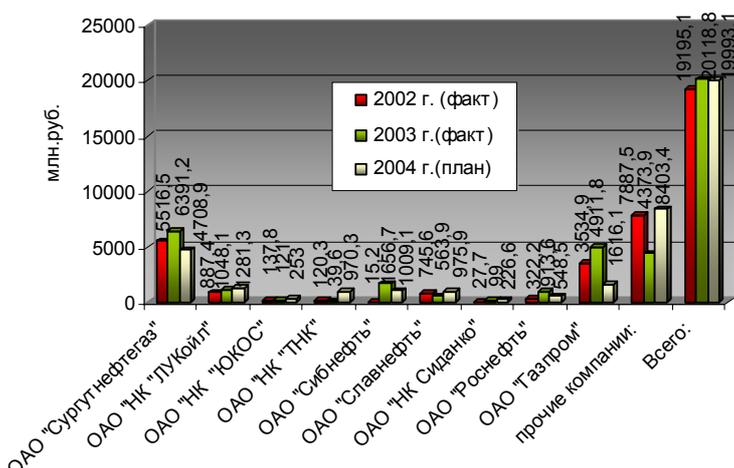


Рис. 3. Финансирование геологоразведочных работ недропользователями в 2002-2004 гг.

Положительным, прежде всего, следует считать тот факт, что за последние два года финансирование и производство геологоразведочных работ в УрФО в целом стабилизировалось (рис. 3-5). Наметилась тенденция роста затрат недропользователей на геологоразведочные работы. Здесь среди основных добывающих компаний следует выделить ОАО «Сургутнефтегаз», не уменьшившее финансирование и объемы геологоразведочных работ после отмены ставок ВМСБ при введении с 01.01.2002 г. части II Налогового кодекса РФ. В этом ряду можно отметить также ОАО «Газпром». Отсюда результативность геологоразведочных работ (прирост запасов), даже с учетом незначительных колебаний за последние два года, планируется на текущий год значительно выше, чем в предыдущие годы: 2001 г. – прирост запасов 380 млн т у. т., 2002 г. – 670 млн т у. т., 2003 г. – 620 млн т у. т., 2004 г. – планируемый прирост запасов 750 млн т у. т.

Возросла результативность геологоразведочных работ, финансируемых и из федерального бюджета, за счет ужесточения контроля над качеством выполнения подрядчиками государственных контрактов. По результатам 2003 г. в целом по федеральному округу ожидается прирост прогнозных ресурсов в объеме 1000 млн т у. т (региональные геолого-геофизические работы на нефть и газ). В результате проведенных геологоразведочных работ за 2003 г. получен прирост запасов по категории С₁ по условному топливу – 620 млн т.

Эффективность ГРП по условному топливу составила 4111 т/м, по жидким УВ – 193 т/м, или же 32 руб/т у. т. Открыто 16 новых месторождений УВ-сырья, выявлено более 40 новых залежей на ранее открытых месторождениях, подготовлено 52 структуры; введено в глубокое бурение более 30 перспективных структур.

Основной прирост запасов УВ-сырья получен в основном на распределенном фонде недр (86 % основного прироста). Это свидетельствует о том, что прирост получен в основном за счет перевода запасов категории С₂ в категорию С₁. Довольно скромные результаты мы имеем на нераспределенном фонде недр. Так, в 2003 г. за счет средств субъектов Федерации прирост промышленных запасов УВ-сырья ожидается только в объеме 2-3 млн т. Причина – наметившееся сокращение финансирования ГРП на нераспределенном фонде недр со стороны бюджетов субъектов Федерации после отмены ставок ВМСБ. Так, в 2003 г. из бюджетов субъектов Федерации на геологоразведочные работы на углеводороды было израсходовано 3074,4 млн руб., т. е. – на 47 % меньше, чем в 2002 г. (5780,1 млн руб). В 2004 г., к сожалению, ожидается дальнейшее уменьшение затрат из бюджетов субъектов Федерации (1,8 млрд руб) на 40 %. В этих условиях руководство администраций субъектов Федерации ведет работу по привлечению инвестиций на проведение ГРП на не-

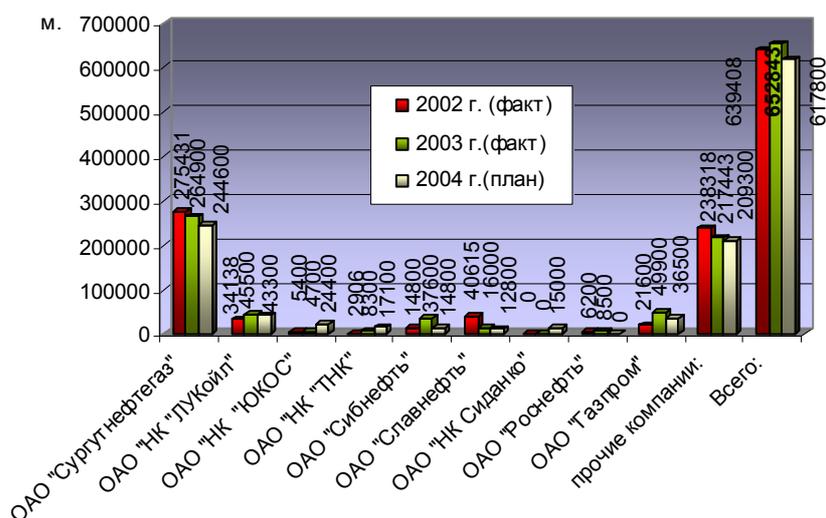


Рис. 4. Выполнение объемов бурения по Уральскому федеральному округу в 2002-2004 гг.

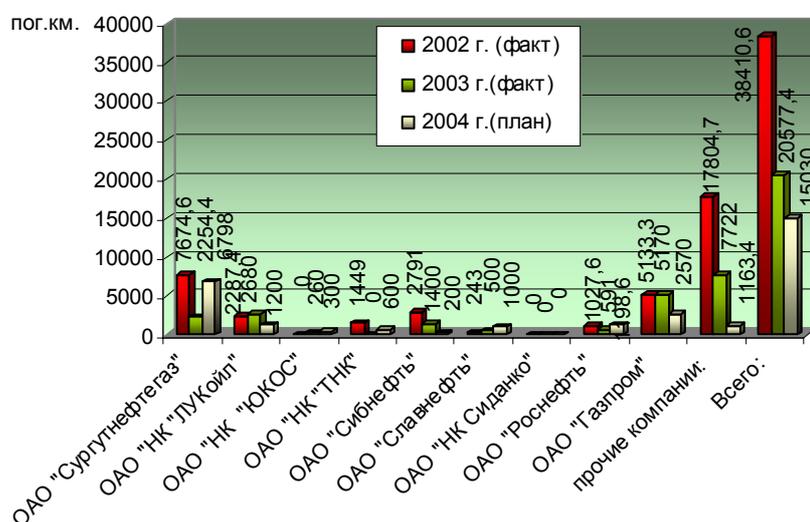


Рис. 5. Выполнение объемов сеймики 2D по Уральскому федеральному округу в 2002-2004 гг.

распределенном фонде недр. Наиболее эффективно ведет работу администрация Ханты-Мансийского автономного округа, которая разработала программу лицензирования участков для поисковых работ на нераспределенном фонде недр, как на основании проведения аукционов и конкурсов, так и включая бесконкурсную передачу участков на геологоразведку нефтяным компаниям. Данная программа потребует при ее реализации усиления контроля за выполнением недропользователями лицензионных обязательств по своевременной и полной реализации программ геологоразведочных работ на заявленных и полученных участках. С другой стороны, преследуется цель широкомасштабного развертывания поисковых работ на слабо изученных территориях за счет привлечения частных инвестиций, а не за счет средств госбюджета.

Анализ результатов геологоразведочных работ за последние два года выявил также и негативные моменты. В основном это касается отношения вертикально интегрированных нефтяных компаний к производству геологоразведочных работ на своих лицензированных участках. Так, за прошедшие 12 лет на территории России, в том числе и Уральского федерального округа, сформировались две группы недропользователей. В первую входят компании, образовавшиеся на базе крупных государственных предприятий, лицензовавшие в свое время более 90 % ресурсной базы страны. Из 11 крупнейших российских нефтяных и газовых вертикальноинтегрированных компаний в эту группу в УрФО входят 8 нефтедобывающих и одна газодобывающая. Во вторую группу следует отнести компании, имеющие лицензию на разработку одного, реже двух-трех небольших месторождений.

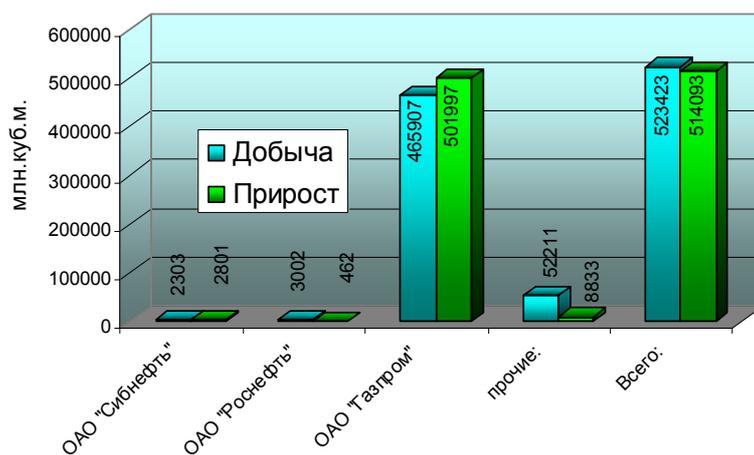


Рис. 6. Соотношение добычи и прироста запасов газа за 2002 г.

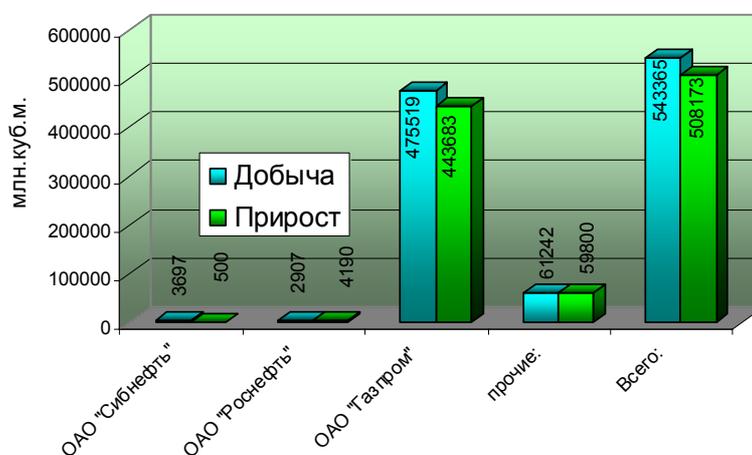


Рис. 7. Соотношение добычи и прироста запасов газа за 2003 г.

Сегодня 8 крупных нефтяных компаний добывают на территории Уральского федерального округа 94 % нефти, из них: ОАО «Сургутнефтегаз» – 20 %, ООО «Лукойл-Западная Сибирь» – 18 %, НК «ЮКОС» (ОАО «Томскнефть», ОАО «Юганскнефтегаз») – 20 %, Тюменская НК – 11 %, ОАО «Сибнефть» – 11 %, ОАО «Славнефть» – 6 %, ОАО «Сиданко» – 4 %, ОАО «Роснефть» – 4 %. На долю остальных компаний (62) приходится, таким образом, всего 6 % добычи округа.

92 % газа добывают в УрФО дочерние предприятия ОАО «Газпром» (ООО «Ямбурггаздобыча», ООО «Уренгойгазпром», ООО «Ноябрьскгаздобыча», ООО «Надымгазпром»). Остальные 40 компаний добывают только 8 % годовой добычи по УрФО. Даже такие крупные нефтяные компании, как ОАО «Сибнефть» и ОАО «Роснефть», в сумме добывают не более 1 % газа.

Естественно, что основная роль в проведении геологоразведочных работ с целью воспроизводства минерально-сырьевой базы должна принадлежать наиболее крупным недропользователям. Всего же на территории федерального округа в недропользовании заняты более 110 компаний (62 – в ХМАО, 51 – в ЯНАО). Как показывает проведенный нами анализ, финансирование геологоразведочных работ, за редким исключением (ОАО «Сургутнефтегаз» и ОАО «Газпром»), в основном начинает перекладываться на предприятия «малого» ТЭК. Так, в 2002 г. 89 % прироста запасов было обеспечено за счет ассигнований крупных компаний. В 2003 г. этот показатель составил 74 %. В 2004 г. планируется получить прирост запасов за счет предприятий малого ТЭК в объеме уже 36 % и только 64 % прироста запасов ожидается за счет деятельности крупных компаний. Это не удивительно, так как сегодня предприятия малого ТЭК финансируют производство практически одной трети основных видов геологоразведочных работ, хотя экономически рациональным, социально справедливым было бы ожидать финансирования ГРП в соответствии с объемами добываемого УВ-сырья.

На рис. 6-8 достаточно наглядно отражена динамика соотношения добычи и прироста запасов газа предприятий ОАО «Газпром» и предприятий «малого ТЭК».

Причина невысокой заинтересованности в производстве геологоразведочных работ, а значит, и в приросте минерально-сырьевой базы у крупных компаний кроется в том огромном потенциале сырьевых ресурсов (83 % извлекаемых запасов нефти и 67 % запасов газа), которые находятся в их хозяйственном ведении и позволяют им жить без сырьевых проблем не одно десятилетие.

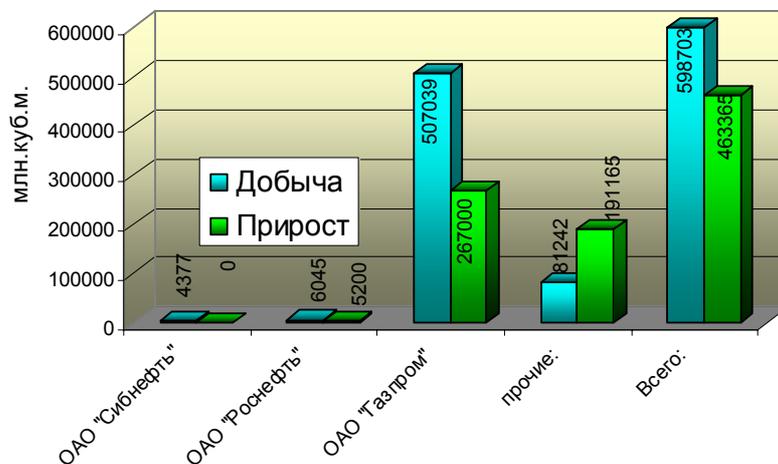


Рис. 8. Соотношение ожидаемых показателей добычи и прироста запасов газа в 2004 г.

К чему это приводит, можно показать на примере анализа выполнения лицензионных обязательств недропользователями в УрФО по поисковым и совмещенным лицензиям за последние 3 года. Так, сегодня по поисковым лицензиям (типа НП) не добурено 140600 м (не построено 48 скважин), не введено в опоскование 4 лицензионных участка. По совмещенным лицензиям (типа НР) не добурено 136900 м (не построено 47 скважин). На 6 участках работы ведутся с отставанием от сроков, определенных лицензионными соглашениями. Несложный подсчет показывает, что таким образом не выполнен перевод прогнозных ресурсов в запасы категорий C₁+C₂ в количестве 148 млн т по нефти и 520 млрд м³ по газу, что приблизительно соответствует годовому объему добычи нефти и газа в регионе.

ПРОГНОЗ ЗАЛЕЖЕЙ УГЛЕВОДОРОДОВ В СЛОЖНО ПОСТРОЕННЫХ ЛОВУШКАХ ТРИАСОВОГО И ЮРСКОГО КОМПЛЕКСОВ ЗАПАДНО-СИБИРСКОГО МЕГАБАСЕЙНА ПО ДАННЫМ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ

ФЕДОРОВ М. Ю.,
ТО «СургутНИПИнефть», г. Тюмень

Со временем в пределах Западно-Сибирского нефтегазоносного мегабассейна для прироста запасов все более значимым становится промысловый потенциал юрских отложений ортоплатформенного чехла и раннемезозойско-палеозойских пород фундамента.

Нефтепроявления, связанные с доюрскими образованиями, на территории Западной Сибири известны давно. Почти все они связаны с продуктивностью верхней части триасовых и палеозойских пород. Незначительные притоки нефти из глубоких горизонтов палеозойского возраста получены только на Малоичской площади в Новосибирской области [3]. Как пример перспективного объекта в зоне контакта триасового комплекса с отложениями ортоплатформенного чехла юрского возраста рассматривается Рогожниковская площадь. В пределах Рогожниковского лицензионного участка выявлено две залежи – Рогожниковская и Со-сновская, приуроченные к отложениям туринской серии триасового возраста. При испытании разведочных скважин дебиты по нефти в среднем равны 15 м³/сут, при испытании скважины 729 Рогожниковского месторождения из отложений туринской серии получен приток нефти дебитом 46 м³/сут. на 6 мм штуцере. Со-

гласно исследованиям Голубевой Е. Г. и Кривичкина В. Г. [2], туринская серия триаса на указанной площади представлена телами риолитов и базальтов с прослоями осадочных пород.

При изучении возможности применения сейсморазведки по выявлению перспективных для постановки бурения зон, расположенных в кровле доюрского гетерогенного комплекса, необходимо уточнение особенностей истории геологического развития и этапы формирования коллекторов и собственно залежей в них на контакте триасового и юрского комплексов. Результаты исследования «доюрских» нефтей Ханты-Мансийского и Северо-Варьёганского месторождений, проведенных Н. В. Лопатиным с соавторами [5], а также В. В. Ильинской по нефти из триаса Рогожниковского месторождения, свидетельствуют о том, что и риолит-базальтовая толща туринской серии, и юрские угленосные отложения тюменской свиты континентального генезиса не являются источником РОВ для формирования залежей углеводородов в исследуемом интервале. Таким образом, можно с большой степенью уверенности предположить, что возникновение залежей углеводородов в триасовых эффузивах связано с органическим веществом, аккумулярованным в слабобитуминозных глинах ааленского и тоарского возраста ингрессивно-морского генезиса. Из выше сказанного следует, что залежи углеводородов в триасовых формациях на Рогожниковской площади могли возникнуть вследствие миграции углеводородов из обогащенных РОВ радомской и тогурской слабобитуминозных пачек в эрозионно-тектонические выступы. Пик миграции углеводородов из радомских и тогурских отложений пришелся на палеоген-неоген (Н. В. Лопатин и др.), начался процесс примерно 120 млн лет назад.

Фильтрационно-емкостные свойства продуктивного объекта в низах мезозоя могли сформироваться во время доюрского стратиграфического перерыва при развитии коры выветривания по кровле фундамента. В ходе дальнейшего тектонического развития бассейна и погружения доюрского комплекса коллекторские свойства коры выветривания под действием гравитационного уплотнения и вторичного минералообразования могли изменяться в сторону уменьшения. К рубежу 120 млн лет под действием этих процессов ФЕС значительно сократились, что могло не позволить продуктам начавшейся нефтегенерации накапливаться в резервуаре коры выветривания.

По керну ряда скважин Рогожниковской площади Бочкарёвым В. С. и др. К-Аг методом были проведены определения абсолютного возраста [1]. Получены значения от 206 ± 5 млн лет до 91 ± 5 млн лет. Около 50 % определений находятся в пределах 120 ± 5 ; 122 ± 5 млн лет [2]. Результаты, противоречащие триасовому возрасту, лишь указывают на время вторичных изменений минералов в ходе всплеск тектонической активности. Первая отмечается в период 122–120 млн лет, вторая – 97–91 млн лет назад. Эти проявления тектогенеза подтверждаются при проведении по сейсмическим данным палеотектонического анализа и явными проявлениями в сейсмических полях дизъюнктивной тектоники (рис. 1, а, в). Обновление пустотного пространства в верхней части доюрского комплекса под действием тектонических подвижек в апт-сеномане, а также под действием связанных с ними процессов гидротермальной переработки среды (аргиллизацией) с выносом петрогенных элементов стало, по-видимому, основным геологическим фактором при формировании коллекторов триаса, вмещающих залежи нефти на площади исследования.

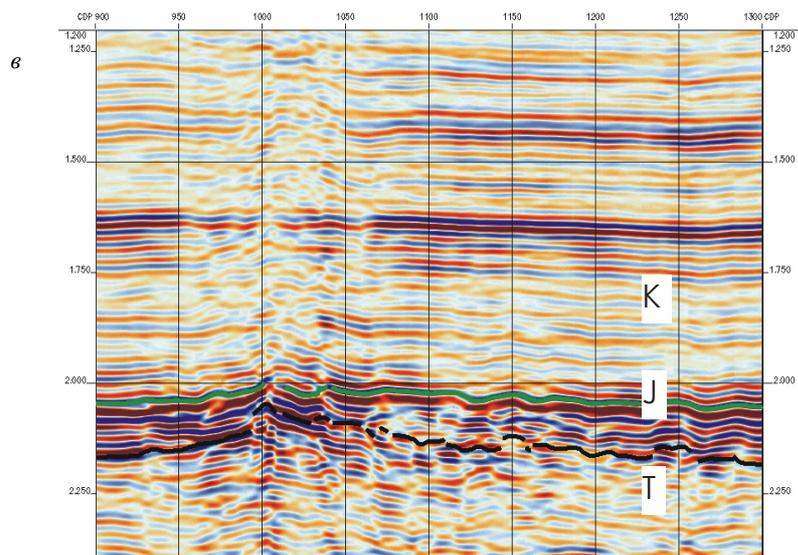
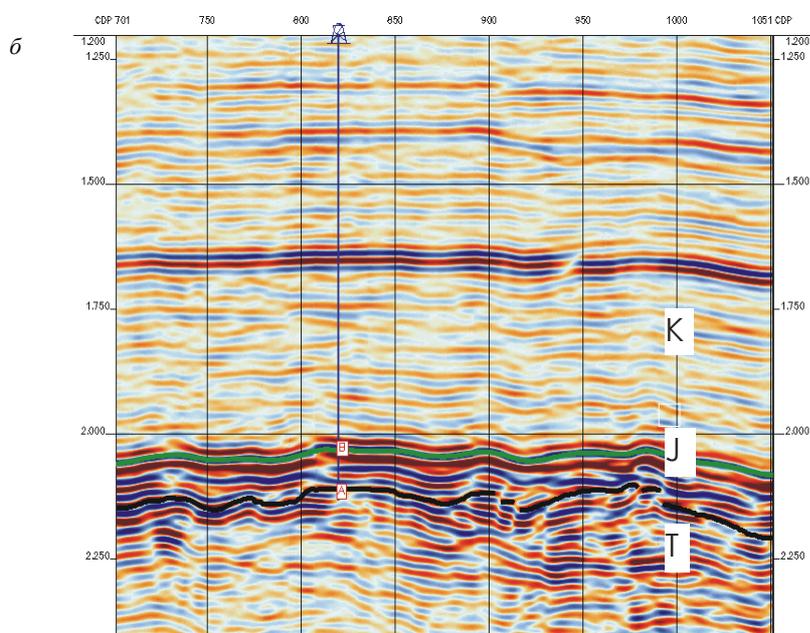
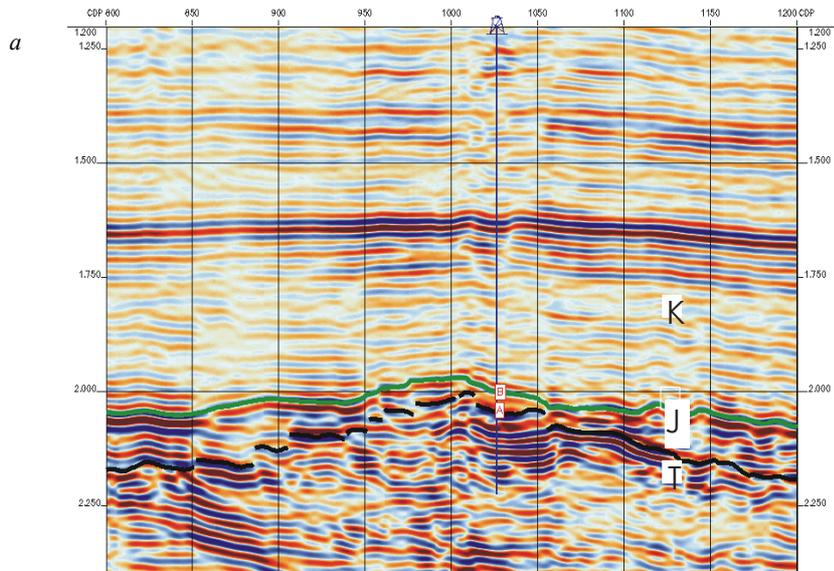
Приведённые выше соображения позволяют выработать критерии для выделения участков, перспективных для поиска залежей углеводородов в кровле гетерогенного доюрского комплекса по данным сейсморазведки:

- наличие зон молодых дизъюнктивов в теле ортоплатформенного чехла;
- приподнятый участок по отражающему горизонту «А»;
- близкая линия выклинивания нефтематеринских пород нижней юры.

На рис. 1, а приведён фрагмент временного разреза, где отмечаются выше перечисленные объекты. При испытании скважины, обозначенной на этом рисунке, при испытании интервала залегания триасовых образований получен промышленный приток безводной нефти. На рис. 1, б приведен фрагмент профиля, на котором не отмечается проявлений молодого тектогенеза, хотя этот факт определяющим не является, главное объяснение отсутствию притока в скважине при испытании туринской серии заключается в удаленности линии выклинивания слабобитуминозных пачек шеркалинской свиты. В контексте вышесказанного обоснованием рекомендаций по бурению разведочных скважин могут служить особенности строения сейсмического поля, схожие с волновой картиной, приведенной на рис. 1, в.

По мнению автора, влияние тектонических процессов на формирование ФЕС пластов тюменской свиты и, в частности, основного продуктивного горизонта ЮС₂ также является весьма значительным. Основные запасы в данном горизонте сосредоточены в пределах Сургутского свода.

Скорее всего, основную роль в промысловых возможностях горизонта ЮС₂ играет кавернозность и трещиноватость пласта, определяющая его емкостные и фильтрационные свойства. От значений последних в основном и зависят начальные дебиты скважин. Вероятнее всего основное влияние на формирование емкостных и, что важнее, фильтрационных свойств оказывает не столько тектоническая трещиноватость, сколько пустотное пространство, образовавшееся в результате катагенетических изменений пород. Процессы гидротермального метасоматоза выражены в растворении силикатных и карбонатных компонентов пород в составе обломочного каркаса и цемента [6]. Поступление гидротермальных растворов было стадийным, они могли



Фрагменты временных разрезов 2D ОГТ Рогожниковской площади

проникать в осадочный чехол из фундамента по глубинным разломам. Интенсивность поступления в осадочный чехол низкотемпературных гидротерм прямо зависела от степени активизации тектонических процессов, происходящих в доюрском фундаменте. Наиболее активные тектонические процессы по времени, скорее всего, совпадали с фазами максимума глобальных эпох складчатости. Последняя, заметная активизация тектогенеза произошла в мел-палеогеновое время [1].

Из выше сказанного можно сделать вывод о том, что следы катагенетических изменений можно теоретически обнаружить вверх по разрезу вплоть до палеогена, что на практике, конечно, представляется маловероятным. Однако существование вторичных коллекторов, происхождение которых обусловлено тектоническими движениями, сопровождавшимися гидротермальной переработкой отложений юры и низов мела, очень вероятно [6].

Автором были рассчитаны кривые акустического импеданса по данным акустического каротажа, проведенного в скважинах на территории Восточно-Сургутского, Федоровского и Рускинского лицензионных участков. Всего было рассмотрено 55 разведочных скважин. Критерием отбора скважин (кроме наличия данных АК) служили первоначальные дебиты. Отбирались скважины, в которых по результатам испытания притока не получено, либо дебит составил не более $1 \text{ м}^3/\text{сут}$, и скважины с начальным дебитом, превышающим $10 \text{ м}^3/\text{сут}$. Кривые акустического импеданса были получены из результатов акустического каротажа с использованием зависимости Гарднера, далее кривые импеданса сглаживались для исключения влияния тонких пропластков, мощность которых составляет менее 5 м.

При анализе полученных данных рассматривался диапазон глубин, равный 100 метрам, нижняя граница которого находится в 20 метрах выше кровли битуминозных аргиллитов баженовской свиты. Данный интервал был выбран из-за того, что в некоторых программных комплексах для инверсии сейсмических трасс в трассы акустических жесткостей используются достаточно упрощенные алгоритмы, что дает основание предполагать влияние резко контрастной баженовской свиты на результаты инверсии в подбаженовском пространстве. По результатам расчетов в указанных интервалах разреза средние значения акустических импедансов в низкодебитных скважинах находятся в диапазоне $7000 - 7200 \text{ м/с} \cdot \text{г/см}^3$. В скважинах, где были получены значительные для горизонта ЮС₂ дебиты, средние значения импедансов лежат в пределах $5900 - 6200 \text{ м/с} \cdot \text{г/см}^3$.

На основании полученных результатов можно говорить о том, что скважины, давшие заметные притоки, лежат в областях относительно разуплотненных, которые могут быть закартированы с помощью трехмерной сейсморазведки. При рассмотрении результатов инверсии кубов реальных сейсмических трасс в кубы акустических импедансов обращают на себя внимание аномалии столбчатой и линейной в плане формы, простирающиеся вверх над отражающим горизонтом «Б» более чем на 100 мс. Применение двумерных сейсморазведочных работ не даст значимых результатов, в первую очередь, из-за низкой плотности сети наблюдений.

Полученные результаты могут иметь важное значение при планировании разведочных работ и составлении технологических схем разработки залежей пласта ЮС₂. Хотя работы в этом направлении носят предварительный характер, их итоги вселяют некоторый оптимизм в отношении возможностей сейсморазведки при решении нефтегеологических задач в рамках сложно построенных объектов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бочкарев В. С. и др. Переинтерпретация геофизических данных с целью выдачи рекомендаций на поиски залежей нефти в доюрских образованиях Рогожниковской, Среднеазымской, В-Соснинской, Фроловской площадей: Отчет по договору 922. Тюмень, 1992. 38 с.
2. Голубева Е. Г., Криночкин В. Г. Сейсмогеологическое строение доюрского основания Рогожниковской площади // Вестник недропользователя. 2001. № 6. С. 36-45.
3. Запывалов Н. П. Нефтегазоносность фундамента осадочных бассейнов // (Материалы международной научно-практической конференции). М., 2002. С. 102-108.
4. Зубков М. Ю., Шведенков Г. Ю. Экспериментальное моделирование процесса формирования вторичных коллекторов под действием гидротермальных флюидов различного состава // Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО: Пятая научно-практическая конференция. Ханты-Мансийск, 2002. С. 323-33.
5. Лопатин Н. В., Емец Т. П., Симоненкова О. И., Галушкин Ю. И. Об источнике нефтей, обнаруженных в коре выветривания и кровле палеозойского фундамента на площадях Среднего Приобья // Геология, геофизика и разработка нефтяных месторождений. 1997. № 7. С. 7-22.
6. Предтеченская Е. А., Вакуленко Л. Г., Злобина О. Н. Катагенетические изменения песчаных пород Фроловской фациальной зоны (Западная Сибирь) и их влияние на коллекторские свойства // Осадочные бассейны Урала и прилегающих регионов: закономерности развития и минералогия: Доклады 4-го регионального Уральского литологического совещания. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2000. С. 200-203.

МАЛЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ОТЛОЖЕНИЯХ ТЮМЕНСКОЙ СВИТЫ ШАЙМСКОГО НЕФТЕГАЗОНОСНОГО РАЙОНА (ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ)

СВЕЧНИКОВ Л. И.,
ТПП «Урайнефтегаз»

При изучении скв. 10320, пробуренной на Тальниковом месторождении, произведен послыйный отбор проб из интервала 1717-1805 м, с полным отбором керна, характеризующего нижнюю часть абалакской (1717-1729 м) и тюменскую свиты. По 84 пробам, взятым из слоев с установленным генезисом (фацией), проведен количественный анализ некоторых малых элементов (или элементов-примесей, редких элементов и пр. [2]) в аккредитованной лаборатории Института испытаний и сертификации минерального сырья. При выборе элементов мы ориентировались на опыт работы по терригенным угленосным толщам и исходили из их максимальной информативности для оценки изменений в условиях формирования отложений [3, 4].

В табл. 1 приводятся полученные средние значения содержаний малых элементов (МЭ) и их кларковые содержания в литосфере. Как видно из этих данных, показатели не имеют особо резких отличий, исключая в какой-то степени медь. Ее повышенная концентрация в сравнении с кларковым содержанием (в четыре раза), скорее всего, объясняется широко известным сродством с органической и глинистой составляющими осадочных пород.

Таблица 1

Содержания малых элементов (МЭ): $n \cdot 10^{-3}$, %

Объект	Элементы						
	Ga	Cu	Sr	Mn	Cr	V	Ba
Изученный массив	2,8	16,7	21,6	43,8	17,6	13,8	68,0
Кларковое значение	1,9	4,7	34,0	100	8,3	9,0	65,0

Дальнейший анализ полученных результатов проводился их статистической обработкой. Последовательность операций многократно описана нами в ряде работ, в том числе именно для тюменской свиты, в статье [1]. В табл. 2 приводятся показатели корреляционных связей между МЭ, а на рис. 1 – кластерная диаграмма, характеризующая их взаимоотношения.

Таблица 2

Корреляционная матрица

Элементы	Ga	Cu	Sr	Mn	Cr	V	Ba
Ga	1,00	0,81	0,31	-0,53	0,23	0,48	0,21
Cu	0,81	1,00	0,53	-0,62	0,08	0,13	0,08
Sr	0,31	0,53	1,00	-0,55	0,05	-0,06	0,34
Mn	-0,53	-0,62	-0,55	1,00	-0,13	-0,02	-0,02
Cr	0,23	0,08	0,05	-0,13	1,00	0,48	0,37
V	0,48	0,13	-0,06	-0,02	0,48	1,00	0,45
Ba	0,21	0,08	0,34	-0,02	0,37	0,45	1,00

Приведенные сведения рельефно свидетельствуют о выделении двух групп элементов: 1. Ga – Sr – Cu и 2. Ba – V – Cr, при «внешнем» отношении к данным системам марганца. Еще более четко эти группы проявляются при факторном анализе (табл. 3 и рис. 2).

Таблица 3

Матрица факторных нагрузок

Элементы	Факторы	
	1	2
Ga	0,758220	0,403503
Cu	0,906869	0,077719
Sr	0,728594	0,013126
Mn	-0,838577	0,025844
Cr	0,037426	0,757282
V	0,050113	0,863324
Ba	0,101783	0,714356
Вклад	0,377949	0,285543

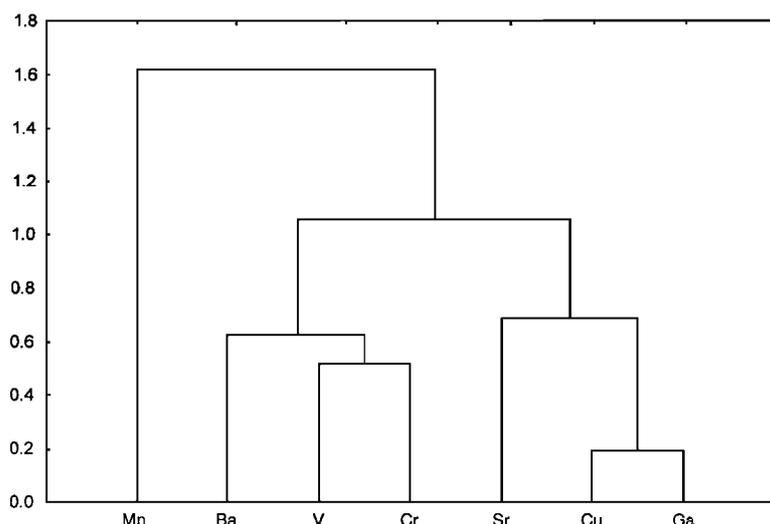


Рис. 1. Кластерная диаграмма объектов (элементов) по соотношению их содержаний (по ординате – расстояние в усл. ед.)

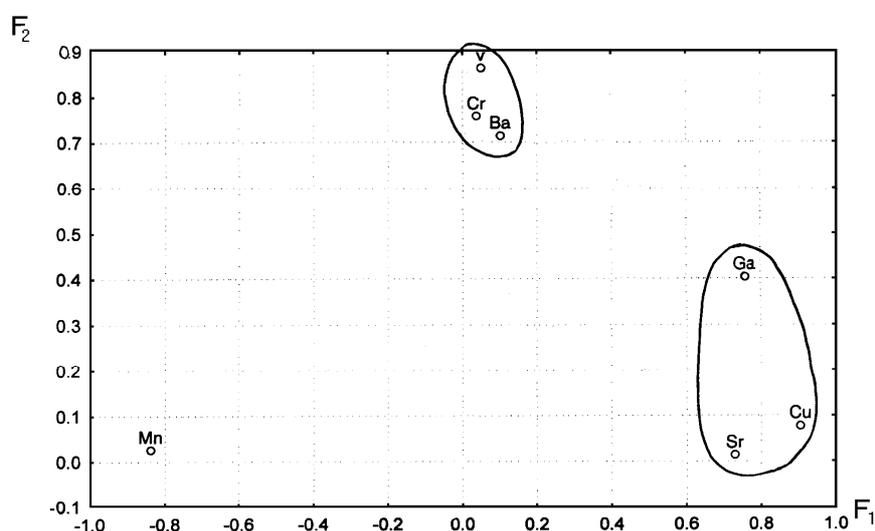


Рис. 2. Распределение элементов в факторном поле (выделены группы элементов)

Не вдаваясь в детальную характеристику геохимической специализации каждого из элементов, отметим, что полученные статистическим обчислением исходных данных материалы очень хорошо отразили условия формирования отложений.

Во-первых, четко обособленное положение марганца подтверждает его большую приуроченность к мористым отложениям в принципе. Таким образом, его «противостояние» другим элементам в сугубо континентальной толще тюменской свиты выглядит совершенно закономерным.

Во-вторых, группа Ga – Sr – Cu идентифицирует петрофонд, то есть связь состава отложений с питающими провинциями. Каждый из этих элементов свидетельствует об указанной связи по-разному: Ga – по перемещению материала во взвеси, Sr – сродством с органическим, Cu – как с органическим, так и с глинистым веществом и т. д. Однако, их группировка в тесную и хорошо распознаваемую группу (см. рис. 1, 2) определяет первый фактор изменчивости всей системы с определяющим вкладом 37,8 % (см. табл. 3).

В-третьих, группа элементов Ba – V – Cr, характеризующаяся еще большей теснотой взаимосвязей (см. рис. 1, 2), характеризует изменчивость собственно условий осадконакопления внутри области седиментации. Ею формируется второй фактор, определяющий 28,5 % изменчивости системы (см. табл. 3). При этом Sr и Ba идентифицируют большую подвижность обстановок; поведение же V всегда составляло значительную

загадку для геохимиков – не являются исключением и полученные результаты. Во всяком случае, сходство Сг и V в осадочных терригенных (угленосных) толщах нами отмечалось и ранее.

Именно последнее предположение проверено вынесением данных по конкретным пробам в поле факторов F_1 и F_2 . Они четко распределились в соответствии с их генетической характеристикой по результатам литолого-фациального анализа, что дало полное подтверждение правомерности такой характеристики, насыщая ее конкретным геохимическим содержанием.

Конечным звеном в расчетах явилось построение серии графиков, характеризующих изменение первого фактора F_1 по разрезу скв. 10320. Помимо резкого отчленения абалакской свиты, значения F_1 как для всей выборки, так и отдельно по песчаникам и алевролитам показали резкие изменения на глубинах 1762– 1750 м. Эти данные полностью совпали с результатами литохимического изучения песчаников.

Такие изменения в значениях фактора F_1 по разным параметрам находят существенное обоснование в смене петрофонда для нижней и верхней частей тюменской свиты. Чтобы проверить правильность таких значений, нами построен аналогичный график и для второго фактора (см. табл. 3). Отсутствие резких скачков в изменениях его значений для изученного разреза убедительно подтверждает обусловленность изменчивости данного фактора F_2 сменой обстановок осадконакопления (фаций) внутри области седиментации.

Из приведенных сведений следует главный вывод: независимыми от генетических рассуждений аналитическими исследованиями, имеющими выражение в суммирующих статистических показателях (факторах), также устанавливается двучленное строение тюменской свиты в данной части Шаимского НГР. Это полностью подтверждают сделанные ранее выводы, базирующиеся на изучении литолого-фациального состава отложений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алексеев В. П., Федоров Ю. Н., Балахонов В. С. и др. Верификация генетических реконструкций посредством количественной обработки литологической информации (на примере отложений тюменской свиты Шаимского района Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна) / Алексеев В. П., Федоров Ю. Н., Балахонов В. С., Газалеев С. С., Кошевой В. Н., Печеркин М. Ф., Русский В. И., Свечников Л. И. // Проблемы геологии и географии Сибири: Вестник ТГУ. 2003. № 3 (II). С. 221-223.
2. Волков В. Н., Полеховский Ю. С., Сергеев А. С., Тарасова И. П. Введение в металлогению горючих ископаемых и углеродсодержащих пород: Учебное пособие. СПб.: Изд-во СПбГУ, 1997. 248 с.
3. Металлогения и геохимия угленосных и сланцесодержащих толщ СССР. Закономерности концентрации элементов и методы их изучения / В. Р. Клер, В. Ф. Ненахова, Ф. Я. Сапрыкин и др. М.: Наука, 1988. 256 с.
4. Юдович Я. Э. Региональная геохимия осадочных толщ. Л.: Наука, 1981. 276 с.

СОСТОЯНИЕ РУДНОЙ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ УРАЛЬСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА, ТЕМПЫ ДОБЫЧИ И ВОСПРОИЗВОДСТВА

РЫЛЬКОВ С. А., АЛЁШИН Б. М., ВОРОЖЕВ Е. С.,

Департамент государственного контроля МПР России по Уральскому федеральному округу

Минерально-сырьевая база Уральского федерального округа с учетом многообразия видов твердых полезных ископаемых, значительных масштабов промышленного оруденения на протяжении многих столетий играла и продолжает играть значительную и нередко ведущую роль в экономике Российской Федерации.

На территории Уральского федерального округа расположены субъекты Федерации, относящиеся к старейшим горнодобывающим регионам России, что, с одной стороны, предопределило их относительно высокую изученность геологическими и геофизическими методами в предыдущие периоды (довоенный и 40-90-е годы XX в.), а с другой – привело к постепенному истощению фонда наиболее привлекательных традиционных геолого-промышленных типов месторождений полезных ископаемых.

Округ обеспечивает добычу в России 97 % ванадия, 70 % бокситов, 61 % хризотил-асбеста, 25 % железных руд, 22 % огнеупорных глин – 60 % нефти. По данным института ВСЕГЕИ, Уральский регион резко доминирует перед другими регионами России по товарной стоимости (ценности) недр - доля округа в общей ценности недр России составляет 38,8 %. Что касается удельной ценности недр, привязанной к 1 кв. км территории, то Уральский регион не имеет себе равных в России, превышая средний показатель по России в 7,5 раз.

В последнее десятилетие в регионе открыты, разведаны и частично введены в эксплуатацию новые крупные месторождения меди, золота, хромитов в Ямало-Ненецком округе и Свердловской области (Рай-

Изское, Сафьяновское, Воронцовское). Завершена оценка Березняковского золоторудного месторождения и Томинского медно-порфирового месторождения в Челябинской области.

Потенциал недр округа не исчерпан, а выработка оптимальной стратегии геологоразведочных работ, уточнение модели геологического строения территории, концентрация средств на перспективных направлениях, разработка новых прогнозно-поисковых технологий позволят существенно укрепить минерально-сырьевую базу субъектов Федерации, входящих в состав округа. Реализация этих задач и определяет основные направления геологоразведочных работ в Уральском регионе.

На территории округа работает более 900 горнодобывающих предприятий, производящих рудную и неметаллическую продукцию для чёрной и цветной металлургии, благородные металлы, драгоценные камни, камнесамоцветное сырьё, сырьё горно-технической, горно-химической, пищевой, строительной индустрии и сельского хозяйства.

За последние годы (с 1992 по 2003 г.) соотношение между погашением запасов в недрах (добыча+потери) и приростом балансовых запасов основных видов твёрдых полезных ископаемых по округу в целом составило (в раз):

- по железным рудам – 3,5;
- марганцу – 0,32;
- меди – 4,1;
- бокситам – в 2,1;
- никелевым рудам – в 22,3;
- рудному золоту – 0,34;
- золоту россыпному – 1,7.

Нераспределённый фонд недр по основным типам полезных ископаемых (государственный резервный фонд недр) по УрФО составляет (в % от всех учтённых запасов):

- по железным рудам – 50,8,
- марганцу – 62,2,
- меди – 72,
- бокситам – 0,
- никелевым рудам – 1,9,
- рудному золоту – 17,2,
- золоту россыпному – 53,3,
- россыпной платине – 65,3.

По состоянию на 01.01.2003 г. выполнены учет, переоценка и предварительная апробация прогнозных ресурсов твёрдых полезных ископаемых по территории Уральского федерального округа. Материалы по апробированным ресурсам твёрдых полезных ископаемых по состоянию на 01.01.2003 г. приведены в таблице.

Полезное ископаемое	Категория	Ед. изм.	Прогнозные ресурсы по УрФО на 01.01.2003 г.	Доля УрФО в ресурсном потенциале соответствующих категорий по РФ (%)
Железные руды	P ₁ +P ₂	млн т	4825	4,64
Марганец	P ₁ +P ₂	млн т	78	18,3
Хромовые руды	P ₁ +P ₂	млн т	165,1	45,2
Медь	P ₁ +P ₂	млн т	11,73	29,64
Никель	P ₁ +P ₂	млн т	1,25	7,6
Кобальт	P ₁ +P ₂	тыс. т	61,5	9,5
Цинк	P ₁ +P ₂	млн т	6,33	31,49
Бокситы	P ₁ +P ₂	млн т	80	30,76
Молибден	P ₁ +P ₂	тыс. т	30	5,17
Титан (TiO ₂)	P ₁ +P ₂	млн т	8,0	0,91
Цирконий (ZrO ₂)	P ₂	тыс. т	34,0	0,3
Редкие земли (иттрий)	P ₂	тыс. т	11,4	58,2

Это свидетельствует о том, что потенциал недр округа не исчерпан, а выработка верной стратегии геологоразведочных работ, уточнение модели геологического строения территории, концентрация средств на перспективных направлениях, разработка новых прогнозно-поисковых технологий позволят существенно укрепить минерально-сырьевую базу субъектов Федерации, входящих в состав округа. Реализация этих задач и определяет основные направления геологоразведочных работ в Уральском регионе.

На территории округа работает более 900 горнодобывающих предприятий, производящих рудную и неметаллическую продукцию для чёрной и цветной металлургии, благородные металлы, драгоценные камни,

камнесамоцветное сырьё, сырьё горно-технической, горно-химической, пищевой, строительной индустрии и сельского хозяйства.

Ниже приводится краткий анализ ситуации с фактическими объёмами добычи отдельных видов минерального сырья в Уральском Федеральном округе за последние 10 лет в разрезе субъектов федерации территории округа – основных производителей.

Железные руды. В целом по Свердловской области объёмы добычи железных руд за последние 10 лет изменялись незначительно за счёт разработки Гусевогорского и собственно Качканарского титаномагнетитовых месторождений. Добыча титаномагнетитовых руд на этих месторождения остается стабильно высокой и составляет в среднем 40 млн т в год. Добыча богатых скарново-магнетитовых руд в Свердловской области падала с 1992 по 1998 гг. (с 10 млн т в 1992 г. до 4,2 млн т в 1998-м). Начиная с 1999 г. объёмы добычи возросли и в 2002-2003 годах стабилизировались на уровне 7 млн т.

В Челябинской области добыча железных руд снизилась за 5 лет (с 1993 по 1998) на 2 млн т (с 4,6 до 2,6 млн т). В 1999 г. объёмы добычи возросли до 3,7 млн т, однако к 2002 снова упали до 2,5 млн т. В 2003 г. добыча железных руд в Челябинской области составила 3,2 млн т.

Марганец. Добыча марганцевых руд на территории Уральского федерального округа в настоящее время не ведётся. Работы по открытой добыче низкокачественных преимущественно карбонатных марганцевых руд Североуральского марганцевого бассейна на Тынынском месторождении в Ивдельском районе Свердловской области велись с 1994 по 1998 гг. силами ОАО «Уралтрансгаз». Добыча составляла около 50 тыс. т / год. В настоящее время работы приостановлены, поскольку потребители (в первую очередь – НТМК) отказываются использовать необогащенные руды с содержанием марганца около 20 %.

Хромовые руды. В УрФО нет крупных промышленных месторождений хромовых руд. По Уральскому федеральному округу разрабатываются 4 мелких месторождения хромовых руд (по 2 месторождения в Свердловской и Челябинской областях). В Свердловской области добыча марганцевых руд в 2002 году составила 21 тыс. т, в 2003 г. объёмы добычи снизились до 11 тыс. т. В Челябинской области в 2002 г. добыто 87 тыс. т руды, в 2003-м – 95 тыс. т.

Райизский хромоворудный район на Полярном Урале (ЯНАО) является наиболее перспективным и подготовленным для промышленного освоения. Разведанные запасы Центрального и Западного месторождений в 2003 г. были утверждены ГКЗ России в следующих количествах: суммы категорий А+В+С₁ - 2,8 млн т, категория С₂ – 4,9 млн т, сумма категорий А+В+С₁+С₂ – 7,7 млн т. Опытнo-эксплуатационная разработка данных месторождений ведётся в незначительных объёмах и не решает проблемы надежного обеспечения ферросплавных заводов товарными концентратами.

Медь. В 1995 году добыча меди в Свердловской области резко упала по сравнению с 1994 годом (с 46 до 19 тыс. т). Начиная с 1995 года уровень добычи постепенно увеличивался и в 2002 г. составил 48,3 тыс. т, таким образом, к 2002 г. объёмы добычи меди достигли уровня 1994 года. В 2003 г. добыча составила 42,6 тыс. т.

В Челябинской области за последние 8 лет объём добычи медной руды увеличился с 16,2 тыс. т (в 1995 г.) до 50 тыс. т (2002 и 2003 гг.).

Бокситы. Добыча бокситов в УрФО сосредоточена в Свердловской области. Её производит одна горнодобывающая компания – ОАО «Северуралбокситтруда» (СУБР). Ежегодная добыча бокситов на СУБРе стабильна и колеблется в пределах 3,1 – 3,5 млн т.

В Челябинской области, наоборот, наблюдается резко отрицательная тенденция в добыче бокситов – за последние 10 лет объёмы добычи бокситов уменьшились до нуля (с 0,5 млн т в 1992 г.). Исключение составляли 1998 и 1999 гг., когда наблюдался небольшой рост добычи (до 0,3 млн т в год).

Никель. В Свердловской области добыча никеля до 1996 г. колебалась в пределах 3 – 5 тыс. т в год. За 3 года (с 1996 по 1999 гг.) объёмы добычи выросли до 22 тыс. т, однако к 2002 г. снова уменьшились до 7,4 тыс. т в год. В 2003 г. добыча никеля в Свердловской области составила 10,8 тыс. т.

В Челябинской области с 1990 до 1994 гг. добыча никеля составляла в среднем 2 тыс. т в год. В 1995 г. она увеличилась до 7,3 тыс. т, однако к 1999 г. объёмы добычи снова уменьшились до 3,6 тыс. т. Начиная с 2000 г. добыча никеля растёт, в 2003 г. она составила 12,0 тыс. т.

Золото россыпное. Добыча россыпного золота в Свердловской области падала с 1993 по 1997 гг. (с 3,6 т в 1993 г. до 1,5 т – в 1997-м). С 1998 по 2001 гг. объёмы добычи возросли до 2,7 т в год, а в 2003 г. вновь снизились до 2 т.

В Челябинской области наблюдается медленное, но неуклонное уменьшение добычи россыпного золота на протяжении последних 10 лет: если в 1992 г. добыча составляла 0,6 т в год, то в 2003 г. – только 0,2 т.

Золото рудное. Добыча рудного золота в Свердловской области падала с 1,9 т в 1992 г. до 0,7 т – в 1998-м, с 1999 г. наблюдается увеличение добычи до 6,4 т в 2002 г. за счёт эксплуатации Воронцовского золоторудного месторождения. В 2003 г. добыча рудного золота составила 4,1 т.

В Челябинской области добыча рудного золота, снизившись до уровня 0,6 т в 1996 г., после 1997 г. стала неуклонно расти и в 2003 г. составила 3,1 т.

Таким образом, в Уральском федеральном округе с 1992 по 2003 гг. стабильно снижалась среднегодовая добыча угля и богатых скарно-магнетитовых железных руд в Свердловской и Челябинской областях. Добыча меди в Свердловской и Челябинской областях, никеля, россыпного и рудного золота, наоборот, возросла. Добыча бокситов стабилизировалась в пределах 3-3,5 млн т.

Ниже приведена краткая характеристика сырьевой базы горнодобывающего комплекса Уральского федерального округа, обеспеченности ведущих горнодобывающих предприятий разведанными запасами.

Черные, цветные и редкие металлы

Железные руды

В УрФО из недр в последние годы добывалось 45-48 млн т железных руд (15-17 % добычи сырых руд по России), в т. ч. в Свердловской области 44-45 млн т, в Челябинской области 2,5 – 2,7 млн т. Балансовые запасы железных руд промышленных категорий C_1+C_2 составляют 13,8 млн т, причём в них большую часть занимают качканарские малотитанистые железо-ванадиевые руды с невысоким содержанием валового железа – 16,8 %.

На территории Свердловской области добычу ведут ОАО «Богословское рудоуправление», ОАО «Качканарский ГОК-Ванадий», Гороблагодатское рудоуправление, ОАО «Высокогорский ГОК» и Первоуральское РУ. На территории Челябинской области добычу производят ОАО «Бакальское РУ», ОАО «Златоустовское рудоуправление» и ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат».

Основными потребителями товарной железорудной продукции в УрФО являются ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», ОАО «Нижнетагильский металлургический комбинат», Металлургический комбинат им. Серова, ОАО «Мечел». На предприятиях чёрной металлургии УрФО производится 16-17 млн т чугуна, или около 40 % общероссийского производства.

В целом по УрФО создана надежная сырьевая база железорудной промышленности. Обеспеченность всеми запасами промышленных категорий составляет около 170 лет. Однако такое положение складывается за счёт почти неограниченных разведанных и предварительно оценённых запасов железных руд для открытой разработки Гусевогорского и собственно Качканарского титаномагнетитовых ванадийсодержащих месторождений в Свердловской области на срок свыше 200 лет.

В Тагило-Кушвинском районе за счёт открытия и разведки новых месторождений и залежей на флангах и глубоких горизонтах известных месторождений запасы увеличились почти на 0,5 млрд т (все для подземной добычи), однако недостаток инвестиций не позволяет вести строительство новых шахт. Часть упомянутых запасов не обеспечивает при шахтной добыче необходимый уровень рентабельности. В то же время одна из крупных шахт «Магнетитовая» ОАО «Высокогорский ГОК» обеспечена активными запасами на 22 года, шахта «Эксплуатационная» ОАО «Высокогорский ГОК» – на срок до 1 года.

Многие годы нет новых открытий в Магнитогорском районе и в Челябинской области в целом, что крайне осложнило работу ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», на который из-за отсутствия местной сырьевой базы ежегодно завозится 9-10 млн т товарных руд. По этой же причине растёт объём привозных руд на ОАО «Мечел» (г. Челябинск), который в последние годы находился на уровне 7,2 млн т/год.

Поисковые работы на железные руды, проводимые за счёт собственных средств ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат», до последнего времени не давали положительных геологических результатов, однако территориальной программой воспроизводства МСБ за счёт бюджета Челябинской области они, к сожалению, не предусматриваются.

Марганец

Месторождения окисленных марганцевых руд, пригодные для отработки открытым способом, на территории округа отсутствуют. Работы по открытой добыче преимущественно карбонатных марганцевых руд Североуральского марганцевого бассейна на Тынынском месторождении в Ивдельском районе Свердловской области силами ОАО «Уралтрансгаз» в настоящее время приостановлены (добыча составляла около 50 тыс. т/год), несмотря на значительные разведанные и предварительно оценённые запасы суммы категорий $A+B+C_1+C_2$ (41,3 млн т преимущественно для подземной добычи) при содержании марганца 20 % и высокую потребность в марганцевых товарных рудах по УрФО 1 млн т/год, в т. ч. по Свердловской области 0,5 млн т/год.

Тынынское месторождение, как отмечалось выше, могло бы и дальше отрабатываться открытым способом, но карбонатные руды в сыром виде не находили сбыта и требовалось строительство обогатительной фабрики для производства марганцевых концентратов по сравнительно сложной и затратной технологической схеме обогащения карбонатных марганцевых руд. Предприятия черной металлургии УрФО продолжают работать на привозном марганцевом сырье.

Хромовые руды

В УрФО нет крупных промышленных месторождений хромовых руд. Только Райизский хромоворудный район на Полярном Урале является наиболее перспективным и подготовленным для промышленного освоения, в пределах которого разведанные запасы Центрального и Западного месторождений в 2003 г. были утверждены ГКЗ России в следующих количествах: суммы категорий А+В+С₁ 2,8 млн т, категория С₂ – 4,9 млн т, сумма категорий А+В+С₁+С₂ – 7,7 млн т. Разведанные и предварительно оценённые запасы Райизской группы месторождений хромовых руд находятся в 5-30 км от железной дороги Сейда – Лабитнанги.

В Свердловской и Челябинской областях действует несколько небольших предприятий по добыче хромитов с годовой добычей 10-20 тыс. т, что предопределяло дальний завоз в УрФО около 1 млн т хромовых концентратов с месторождений из ближнего зарубежья – Западного Казахстана.

Медь и цинк

Основным источником меди и цинка в УрФО являются медноколчеданные месторождения, медно-железо-ванадиевые месторождения волковского типа и медно-скарновые месторождения. Общее число месторождений этих типов с промышленными запасами 30, в т. ч. медноколчеданных месторождений – 22, медно-железо-ванадиевых волковского типа – 1 и медноскарновых – 2. Значительные запасы меди сосредоточены в 5 месторождениях комплексных медьсодержащих и медно-золотых руд.

В Челябинской области работает (включая подготовку к освоению месторождений) 4 добывающие компании, в Свердловской области – также 4 горнорудные компании. Кроме того, в Свердловской области добычей комплексных медьсодержащих руд занимается несколько железорудных компаний: ОАО «Высокогорский ГОК», ОАО «Богословское рудоуправление и др.

Обеспеченность разведанными запасами руды и меди в ней на различных объектах разработки колеблется в широких пределах – от 1-3 лет до 30 и более лет. Наиболее высокую обеспеченность в Свердловской области имеют ОАО «Сафьяновская Медь-Медин» и Волковский рудник, новые горнодобывающие компании, начинающие добычу на Северном Урале в Ивдельском районе (Тарньерское медно-цинковое месторождение); в Челябинской области – ОАО «Учалинский ГОК», а также на крупных медно-цинковых месторождениях для подземной добычи (Узельгинское, Молодежное и др.).

Бокситы

Добыча бокситов в УрФО сосредоточена в Свердловской области. Её производит одна крупная горнодобывающая компания ОАО «Севуралбокситруда»(СУБР), отрабатывающая шахтами палеозойские диаспорбёмитовые бокситы крупных месторождений Североуральской группы и небольшими карьерами до уровня подземных вод – мелкие месторождения бокситов соседнего Ивдельского района. Ежегодная добыча бокситов на СУБРе стабильна и колеблется в пределах 3,1 - 3,5 млн т. Предприятие обеспечено балансовыми разведанными запасами для подземной разработки до глубины 1200-1600 м на многие десятилетия.

Добыча бокситов сопровождается комплексом дорогостоящих мер по защите действующих и строящихся шахт от обводнения и затопления. Отстают от сроков темпы завершения строительства новых шахт и подготовки новых эксплуатационных горизонтов.

Никель

Месторождения силикатно-никелевых руд УрФО распространены на восточном склоне Урала в Серовском и Режевском районах Свердловской области, Уфалейском и Магнитогорском районах Челябинской области. Наиболее крупным является эксплуатируемое Серовское силикатно-никелевое месторождение, расположенное в Свердловской области в 10 км севернее г. Серова. На нем ведёт добычу ОАО «Уфалейникель» со среднегодовой производительностью рудника около 1 млн т (по руде). Руды перерабатываются на Уфалейском и Режевском никелевых заводах. В Челябинской области отрабатывается Сахаринское месторождение силикатно-никелевых руд, являющееся дополнительной сырьевой базой Южноуральского никелевого комбината. Месторождения Серовское и Сахаринское обеспечены разведанными запасами руды и никеля при современных темпах отработки на первые десятилетия.

Благородные металлы

На территории субъектов Российской Федерации УрФО среди доминирующих геолого-промышленных типов месторождений благородных металлов выделяются собственно золоторудные, доля запасов которых составляет 43 %, доля добычи 49 %; комплексные золотосодержащие: доля запасов составляет 42 %,

доля добычи 31 %; россыпные месторождения древней и современной гидросети, по которым доля запасов составляет 15 %, доля добычи – 20 %.

Доля запасов платиноидов в комплексных рудах составляет 74 %, в добыче – 7 %; россыпные платиновые и золото-платиновые месторождения по запасам составляют 26 %, по объёму добычи 93 %.

По запасам собственно золоторудных месторождений ведущее место принадлежит Свердловской области – 68 %, Челябинской области – 32 %.

Запасы золотосодержащих комплексных месторождений по субъектам Уральского региона распределяются следующим образом: Свердловская область – 27 %, Челябинская область – 73 %.

Основная часть запасов россыпного золота сосредоточена в Свердловской области – 75 %, в Челябинской – 22 %, на территории ХМАО – 3 %.

Все запасы рудных и россыпных платиноидов сосредоточены в Свердловской области.

Основу сырьевой базы добычи золота из рудных месторождений составляют Воронцовское, Светлинское, Березовское, Кочкарское, Крылатовско-Чесноковское, Гагарское и Березняковское месторождения. Основу сырьевой базы добычи рудных платиноидов составляет Волковское медно-железо-ванадиевое месторождение; в перспективе - золото-палладиевые руды «баронского» типа Платиноносного пояса Урала и золото-палладиевое оруденение в углеродистых толщах Центрально-Уральского поднятия.

Основу сырьевой базы золота из руд комплексных золотосодержащих месторождений составляют Сафьяновское и Волковское в Свердловской области; Узельгинское, Молодежное и Александрийское - в Челябинской.

Основу сырьевой базы добычи россыпного золота и платины составляют погребенные мезокайнозойские россыпи эрозионно-структурных депрессий и плиоцен-четвертичные россыпи современных долин бассейнов рр. Лозьвы, Сосьвы, Ваграны, Лобвы, Каквы, Туры, Тагила, Нейвы. Пышмы, Чусовой, Миасса, Урала, Гумейки и др.

Основная часть золотоносных и золото-платиновых россыпей на территории Свердловской области концентрируется в Ивдельско-Краснотурьинском, Промысловско-Кушвинском, Невьянском и Березовско-Полевском золотоносных районах; на территории Челябинской области – в Миасском, Кочкарском, Гумбейском и Брединском золотоносных районах.

В настоящее время около 70 % разведанных балансовых запасов россыпного золота и платины сосредоточены в россыпных месторождениях древней мезо-кайнозойской речной сети.

Добыча золота и платины на территории Уральского региона из рудных месторождений осуществляется силами предприятий ОАО «Березовское рудоуправление», ОАО «Южуралзолото», ЗАО «Золото Северного Урала», АО «Дегтярское рудоуправление», ЗАО «Гагарка-АИ-НВ».

Комплексные медноколчеданные золотосодержащие месторождения региона осваиваются предприятиями ООО «Медин», АО «Святогор», АО «Уралэлектромедь».

Разработка россыпных месторождений золота и платины ведется многочисленными артелями старателей, АО и ЗАО, из которых наиболее крупными являются: АС «Нейва», ОАО «Уралэлектромедь», АС «Южно-Заозерский прииск», ЗАО «Уралнорд», АО «Миассзолото», ОАО «Южуралзолото», ТОО «Балканы», «Золотое руно», АС «Рудная», «Зауралье» и др.

Общая обеспеченность балансовыми запасами золотодобывающих предприятий Уральского региона до последнего времени считалась вполне удовлетворительной и составляла для подземного способа отработки 20-35 лет, открытого (карьерного) – 15-20 лет, дражного и гидравлического – 10-15 лет.

Неметаллические полезные ископаемые

Хризотил-асбест

Месторождения хризотил-асбеста залегают среди массивов ультраосновных пород, распространенных в основном в Тагило-Магнитогорской и Восточно-Уральской зонах. Крупные месторождения хризотил-асбеста образовались в местах внедрения гранитоидов в ультрабазиты.

На Урале выявлено около 20 месторождений хризотил-асбеста, из которых самым крупным, не только на Урале, но и на всем Евро-Азиатском континенте является Баженовское, расположенное в 60 км к северо-востоку от г. Екатеринбурга. Общая протяженность зоны промышленной асбестонности достигает 10 км, а на глубину она прослежена до 1 км; среднее содержание асбеста в руде составляет 2,47 %. Разведанные промышленные запасы волокна хризотил-асбеста на Баженовском месторождении составляют 68,5 млн т.

Годовая добыча асбестовой руды на Урале, включая Оренбургскую область и Северный Казахстан (месторождения соответственно Кiemбаевское и Джетыгаринское), составляла в начале 90-х годов 20,3 млн т, в том числе на Баженовском месторождении 15,5 млн т. Действующее в УрФО предприятие по добыче асбеста ОАО «Ураласбест» в состоянии обеспечить этим сырьем на многие десятилетия не только потребности Российской Федерации, но и экспортные поставки в страны СНГ и дальнего зарубежья.

Драгоценные и поделочные камни

Среди драгоценных и поделочных камней в УрФО известны и разрабатываются следующие минералы: изумруды, александриты, аметисты, сапфиры, топазы, аквамарины, турмалины, рубины, демантоиды и хризобериллы. Большинство месторождений драгоценных камней связаны с гранитными массивами Восточно-Уральской мегазоны, где они приурочены в основном к пегматитовым и кварцевым жилам. Более важные месторождения драгоценных камней в Свердловской области связаны с Мурзинско-Адуйским гранитным комплексом, а в Челябинской области – с Ильменским и Вишневогорским массивами нефелиновых сиенитов и Кочкарским гранитным комплексом.

Добыча изумрудов и александритов осуществлялась и после перерыва должна быть продолжена ЗАО «Зеленкамень» на Малышевском месторождении, расположенном в восточном экзоконтакте Адуйского гранитного массива в 90 км северо-восточнее Екатеринбурга. Известные месторождения топазов, аметистов, аквамаринов, турмалинов, бериллов и сапфиров расположены в пределах Мурзинской самоцветной полосы, расположенной в 30-130 км к северо-востоку от г. Екатеринбурга в зонах западных контактов Мурзинского и Адуйского гранитных массивов. Также широко известны копи с драгоценными и полудрагоценными минералами: амазонитом, цирконом, корундом, топазом, бериллом и др., связанными с Ильменогорским и Вишневогорским массивами нефелиновых сиенитов, расположенными в окрестностях г. Миасса и к северу от него. Здесь установлено 145 минералов, из них 30 найдены впервые на земном шаре. На базе этих копей с драгоценными минералами с начала 20-х годов создан и существует Ильменский государственный минералогический заповедник.

Кочкарская группа месторождений драгоценных камней расположена в 90-120 км юго-западнее г. Челябинска в пределах одноименного гранитного комплекса. Самоцветная минерализация содержится здесь преимущественно в пегматитовых жилах и представлена топазом, турмалином, бериллом, аквамарином, морионом, хризобериллом. Эти минералы присутствуют и в близлежащих россыпях. В Кочкарском самоцветном районе также выявлены Кучинское и Чуксинское месторождения рубинов.

Добыча драгоценных камней осуществляется в небольшом объеме: изумрудов на Малышевском руднике, аметистов и топазов – в Мурзинской самоцветной полосе, демантоидов – на Полдневском месторождении в 65 км южнее г. Екатеринбурга и на Бобровском месторождении в 20 км юго-западнее г. Нижнего Тагила. Имеются все предпосылки для увеличения добычи драгоценных камней на Урале. Очевидна экономическая целесообразность развития этой традиционной подотрасли горного производства.

На Урале распространены следующие поделочные камни: малахит, агат, родонит, яшма, лиственит, нефрит, змеевик, мрамор, селенит. Широко известны Меднорудянокское, Высокогорское и Гумешевское месторождения малахита, изделия из которого имеются в Государственном Эрмитаже и многих музеях. Месторождения агатов известны в Свердловской и Челябинской областях. Наиболее крупным является Магнитогорское месторождение, в котором среднее содержание агатов составляет 22,7 кг на 1 куб. м породы. Изделия из уральского родонита также имеются во многих музеях; родонитом облицованы некоторые станции метро в Москве. Месторождения родонита известны вблизи г. Екатеринбурга: Мало-Сидельниковское, Кургановское, Бородулинское и др.

Яшма является наиболее распространенным поделочным камнем. Месторождения яшм залегают среди вулканогенных толщ силурийского и девонского возраста. На Урале зарегистрировано около 450 месторождений яшм, расположенных в Тагило-Магнитогорской зоне и образующих яшмовый пояс протяженностью около 1600 км от г. Орска в Оренбургской области на юге до г. Ивделя на севере.

Змеевик и мрамор слагают большие массивы вдоль всего восточного склона Урала. Наиболее изученными являются месторождения змеевика на Шабровской площади в 15-30 км к юго-востоку от Екатеринбурга. Более крупные запасы мрамора в количестве 19 млн куб. м разведаны на Коелгинском месторождении, расположенном к юго-западу от г. Челябинска. Добыча поделочного змеевика и мрамора ведутся на индустриальной основе. Годовой объем добычи мрамора на Коелгинском месторождении составляет 50 тыс. куб. м. Имеющиеся месторождения поделочного камня на Урале обеспечивают потребность в этом сырье в УрФО и могут вывозиться за его пределы.

О ПОГРЕШНОСТЯХ ИЗМЕРЕНИЯ МОЩНОСТИ ЭКСПОЗИЦИОННОЙ ДОЗЫ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ВЫПАДЕНИЙ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫМИ ДЕТЕКТОРАМИ

НАЗАРОВ И. М., ФРИДМАН Ш. Д., ФОМИНЫХ В. И.,
Уральская государственная горно-геологическая академия

В практике геолого-поисковых работ на радиоактивные руды нашли широкое применение гамма-радиометры с детекторами на сцинтилляционных кристаллах $NaI(Tl)$. Радиометр непосредственно измеряет скорость счета, но шкала прибора калибруется в единицах мощности дозы (мкР/ч), для чего используется радиевый эталон. В ряде случаев эти приборы применяются для измерения на местности мощности экспозиционной дозы гамма-излучения радиоактивных выпадений продуктов деления.

Настоящая работа посвящена оценке возникающих при этом погрешностей для случая плоского и заглубленного источника.

1. В первое время после выпадения радионуклидов на местность они находятся на дневной поверхности и образуют плоский источник. Мощность экспозиционной дозы P от плоского источника на высоте 1 м от дневной поверхности при энергии нерассеянного гамма-излучения $0,1 < E_0 < 2,8$ МэВ с погрешностью 15 % можно записать [1]:

$$P = 1,3 \times 10^{-9} n_{\gamma} E_0 A, \quad (1)$$

где P , р/с; n_{γ} – квантовый выход на распад; A – поверхностная плотность загрязнения, Бк/см².

Поток нерассеянных гамма-квантов для этих условий с погрешностью 15 %

$$J = 2n_{\gamma} A. \quad (2)$$

Рассеянное гамма-излучение на высоте 1 м от плоского источника мало и может не учитываться при расчете мощности экспозиционной дозы и потока гамма-квантов.

Введем обозначения. Пусть n_j – скорость счета от j -го изотопа, зарегистрированная дозиметрическим прибором (Д) на счетчике Гейгера (которая пропорциональна мощности дозы в широком диапазоне энергий) или зарегистрированная радиометром со сцинтилляционным счетчиком (С, Р); K – средняя площадь сечения детекторов; $\varepsilon(E_0, i)$ – счетная эффективность детекторов (счетчика Гейгера, сцинтилляционного кристалла) для гамма-излучения с энергией E_0, i :

Тогда имеем

$$n_j = 2kA \sum_i n_{ji}(E_0, i) \varepsilon_i(E_0). \quad (3)$$

В единицах радиевого эталона мощность экспозиционной дозы гамма-излучения для j -го изотопа, испускающего гамма-кванты с энергией E_0, i

$$P_j = P_{\text{эт}} \frac{A \sum_i n_{ji}(E_0, i) \times \varepsilon(E_0, i)}{\sum_i n_{jiRa}(E_0, i) \times \varepsilon(E_0, i)}, \quad (4)$$

где $P_{\text{эт}}$ – мощность экспозиционной дозы гамма-излучения радиевого эталона для заданных условий измерений.

Погрешность определения мощности экспозиционной дозы сцинтилляционным радиометром определяется величиной ξ по соотношению

$$\xi = \frac{P(C,P)}{P(D)}, \quad (5)$$

где $P(C,P)$, $P(D)$ – значение мощности экспозиционной дозы, определяемое сцинтилляционным радиометром и дозиметрическим прибором соответственно.

В табл. 1, в соответствии с соотношением (4), рассчитаны значения ξ для высоты 1 м над плоским источником для набора изотопов, охватывающих короткоживущие и долгоживущие радионуклиды. Для определенности в качестве сцинтилляционного радиометра принят прибор СРП-68-01, оснащенный кристаллом $NaI(Tl)$ диаметром 30 мм [6], и дозиметрического прибора – прибор ДП-5, в котором детектором служат гей-

геровские счетчики [7]. Значения $\varepsilon(E)$ для гейгеровских счетчиков приняты согласно работе [2], а значения $\varepsilon(E)$ для кристалла NaJ(Tl) – по работе [3]. Энергетический состав излучения, квантовые выходы и гамма-постоянные взяты по работе [4].

Таблица 1

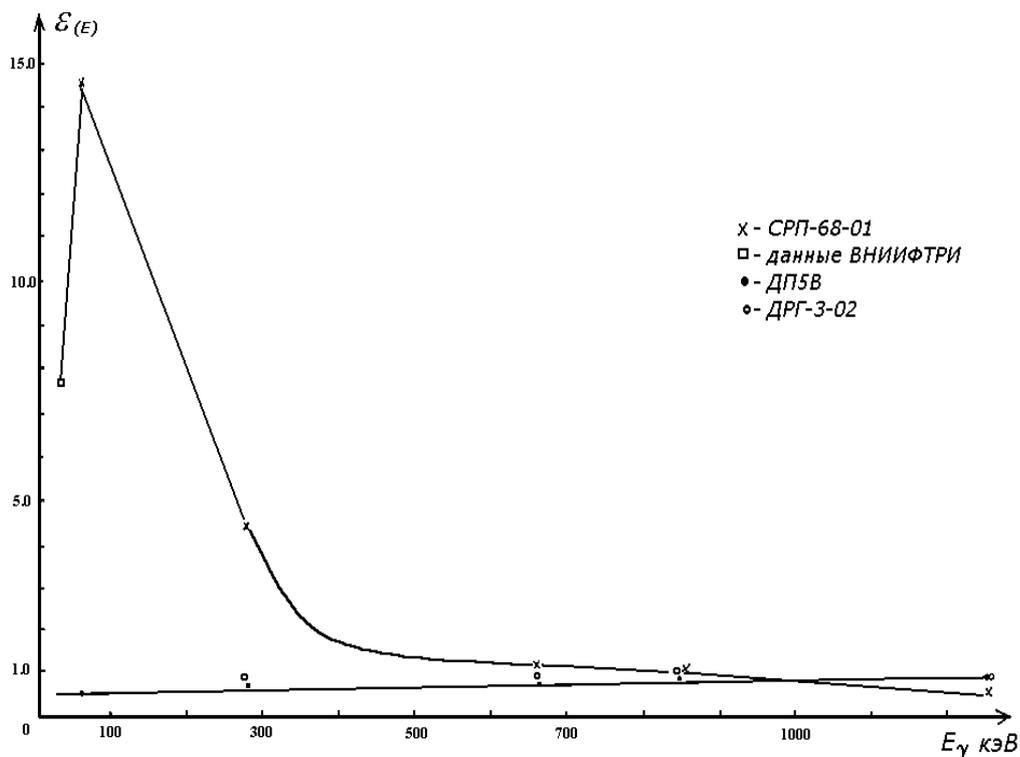
Отношение показаний приборов ξ для отдельных изотопов

Изотоп	Эксперимент и расчет по дозовой эффективности	Расчет по счетной эффективности
$^{95}\text{Zr} + ^{95}\text{Nb}$	1,1	1,1
^{103}Ru	2,8	2,7
^{106}Ru	2,2	2,3
^{131}J	3,9	4,9
$^{132}\text{Te} + ^{132}\text{J}$	9	61
^{134}Cs	1,3	1,4
^{137}Cs	1,3	1,4
$^{140}\text{Ba} + ^{140}\text{La}$	0,9	0,8
^{141}Ce	10	35
^{239}Np	5,9	16

В табл. 1 помимо расчета ξ по счетной эффективности (графа 2) приведены значения, полученные на основе экспериментальных данных по дозовой эффективности приборов (графа 1). Для стандартных источников ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{203}Hg и ^{241}Am были получены прямые экспериментальные данные об эффективности регистрации мощности дозы гамма-излучения по сравнению с мощностью дозы от радиового эталона. Для остальных радионуклидов значения ξ получены расчетным путем с использованием результатов измерений со стандартными источниками. При этом значения мощности дозы определялись по соотношению

$$P = \sum_i P\gamma(E_0, i) \times \varepsilon^p(E, oi), \quad (6)$$

где $\varepsilon^p(E, oi)$ – экспериментальная зависимость эффективности регистрации мощности экспозиционной дозы гамма-излучения в зависимости от энергии квантов по сравнению с радиовым эталоном (см. рисунок), а $P\gamma(E_0, i)$ – гамма постоянная для гамма-квантов с энергией E_0, i j -го изотопа.



Зависимость эффективности регистрации гамма-излучения геофизическим сцинтилляционным радиометром SRP-68-01-0, дозиметром ДП-5В-х, дозиметром ДРГ3-02-Δ, определенная во ВНИИМ им. Д. И. Менделеева

Из табл. 1 видно, что значения ξ возрастают от 0,8 для изотопов, испускающих гамма-кванты высоких энергий, до 61 – для изотопов, испускающих кванты малых энергий. Наблюдается удовлетворительная сходимость результатов, полученных на основе расчета и эксперимента, исключением экстремальных значений.

2. При заглаблении радионуклидов в почву величина ξ возрастает.

Радионуклиды могут заглабляться в почву в результате вспашки и естественного заглабления вследствие процессов диффузии и перемещения с почвенной влагой. Результатом заглабления является ослабление первичного излучения и значительное увеличение вклада рассеянного излучения в мощность дозы и поток числа квантов. При значительном заглаблении, например при вспашке, вклад рассеянных квантов может превышать таковой от прямого излучения в десятки раз. Энергия рассеянных квантов лежит в пределах $0 E_0$, однако основное количество рассеянных квантов имеют энергию менее 0,3 МэВ [1, 5].

Число зарегистрированных детектором рассеянных гамма-квантов находится по формуле

$$n_{\text{рас}} = \int_0^{E_0} n(E, E_0, Z) \times \varepsilon(E) dE, \quad (7)$$

где $n(E, E_0, Z)$ – спектр рассеянных гамма-квантов; Z – атомный номер среды.

В табл. 2 приведены расчетные значения ξ для плоского источника, заглабленного под слой почвы толщиной 25 см. Средняя энергия гамма-квантов принята равной 0,7 МэВ. Спектры рассеянного гамма-излучения взяты по работе [5]. Из таблицы следует, что сильно зависит от состава почв, так как количество рассеянных гамма-квантов малой энергии резко уменьшается с увеличением содержания тяжелых элементов в почве (эффективного атомного номера среды $Z_{\text{эфф}}$). Для очень грубых оценок можно принять, что при равномерном распределении изотопов в пахотном слое толщиной 25 см отношение будет составлять примерно 0,4 от значения для заглабленного плоского источника.

Приведенные в работе результаты показывают, что сцинтилляционные радиометры на кристаллах NaJ(Tl) не пригодны для измерения мощности экспозиционной дозы гамма-излучения от источников неизвестного спектрального состава и неизвестного вертикального распределения радионуклидов в почве.

Таблица 2

Отношение показаний приборов ξ для заглабленного источника с энергией квантов $E_0=0,7$ МэВ

$Z_{\text{эфф}}$	Источник	
	плоский на глубине 25 см	равномерный толщиной 25 см
15	7	3
9	13	5
7,5	23	9

Результаты работы были доложены авторами в Институте атомной энергии им. И. В. Курчатова (Москва) академику А. П. Александрову и на Межведомственной комиссии по дозиметрическим измерениям в составе Координационного совета Президиума АН СССР по экологическим последствиям использования новых технологических систем, созданной в связи с аварией на ЧАЭС в мае 1986 г.

Величина мощности экспозиционной дозы может быть просто заменена на ее энергетический эквивалент – мощность Кермы в воздухе (ГОСТ Р 8.087-2000, РД 50-454).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вартанов Н. А., Самойлов П. С. Прикладная сцинтилляционная гамма-спектрометрия. М.: Атомиздат, 1975. 246 с.
2. Векслер В., Грошев В., Исаев Б. Ионизационные методы исследования излучений. М.: ТТЛ, 1949. 368 с.
3. Гусев Н. Г., Машкович В. П., Вербицкий В. В. Радиоактивные изотопы как гамма-излучатели. М.: Атомиздат, 1964.
4. Лейтуиский О. И., Новожилов Б. В., Сахаров В. Н. Распространение гамма-квантов в веществе. М.: ФМЛ, 1960. С. 150-151.
5. Каталог приборов В/О «Изотоп». Дозиметрические и радиометрические приборы. М.: ЦНИИАтоминформ, 1985.
6. Коган Р. М., Назаров И. М., Фридрих Ш. Д. Основы гамма-спектрометрии природных сред. М.: Атомиздат, 1976. 366 с.
7. Козлов В. О. Справочник по дозиметрии. М.: Атомиздат, 1983.

КРИЗИС ПОНИМАНИЯ

БОРИСОВА Л. К., БОРИСОВ В. И.,
ВНИИГИС, г. Октябрьск

Любые явления природы, как и события, происходящие в жизни людей, не являются ни плохими, ни хорошими. Они просто закономерны, а знаковую оценку им мы выставляем сами, кто с какой точки зрения смотрит. Так обстоит дело и с процессом, происходящим с геофизической наукой. Отношение к нему зависит от мировоззрения человека (идейная сторона) и его положения в структуре (материальная). Поскольку «бытие определяет сознание», то «кому война, а кому мать родна»; у кого-то кризис, а у кого-то и подъем; кто-то осознает возникшие проблемы и пытается их решить, кто-то надеется, что само рассосется...

Если раньше виновником кризиса геофизической науки безоговорочно считался кризис экономики страны, то теперь сторонников этой версии становится все меньше, а акцент переносится на неправильное структурирование геофизической науки советских времен. Все идет своим, закономерным чередом, но очень уж медленно. Состояние геофизической науки, как и всей геофизики, постоянно ухудшается, это видят все, но анализ ситуации, расширяясь по плоскости, вглубь не идет, потому что рефлекс «каждый сверчок знай свой шесток» уже на уровне безусловного. Но ведь если и дальше так будет ставиться диагноз, то до «лечения больного» дело не дойдет. Говорить же о причинах, приведших к кризису геофизическую науку, можно бесконечно, но совершенно напрасно, если корни проблемы кроются глубже ее «шестка», т. е. уровня самостоятельности. Только запутаешься, а масштаба происходящего, как и действий, необходимых для исправления ситуации, не осознаешь. Еще Козьма Прутков говорил: «Зри в корень!»

Начнем анализ с того, что во всех статьях, опубликованных на страницах журнала «Геофизика» [1-4 и др.] на тему кризиса геофизической науки, так или иначе говорится, что начало его уходит к советским временам, а основными причинами чаще всего называются кризис экономики и неправильное структурирование отечественной науки. Существенно реже и ниже в «табеле о рангах» причин кризиса встречается такая формулировка, как методико-методологические ошибки (И. И. Хараз, А. М. Иванчук) или более полная – *идейный кризис*, начавшийся, по данным академика В. Н. Страхова, «приблизительно с середины 80-х годов (условно – с 1986 г.)» [3]. Сущность идейного кризиса, по В. Н. Страхову, характеризуется неадекватностью теории интерпретации геофизических данных геофизической практике, неразработанностью единой теории интерпретации, консерватизмом научных школ, отсутствием подлинно эффективных компьютерных технологий.

Помимо указанных называется еще целый ряд причин кризиса геофизической науки: от падения престижа научного работника до монометодного развития. Продолжать список можно долго. Например, ни для кого не секрет, что помимо деления геофизической науки на фундаментальную и прикладную она еще негласно делится на официально признанную и неофициальную, что достижения официальной науки считаются истинными и абсолютными, а посягательства на них или акцентирование внимания на несоответствие теории и реальности расценивается как преступление. Победа той или иной научной школы, заканчивающаяся полным подавлением инакомыслящих, постепенно и приводит ее к идейному кризису. Поэтому, говоря о консерватизме научных школ, В. Н. Страхов совершенно прав. Живя до сих пор по принципу «тот прав, у кого больше прав», многие ученые, добившись определенного положения, не только перестают расти сами, но и достаточно долго «подравнивают» всех растущих под достигнутый ими уровень. Чинопочитание, возведенное в абсолют, становится непременным атрибутом ученого, весьма часто почитаемого нами за достигнутые чины, а не за сделанный им прорыв в неизвестное. Между тем *звания присваиваются людьми, а знания зарабатываются самостоятельно*. Поэтому еще одним аспектом кризиса геофизической науки, как системы [4], с нашей точки зрения, является ее «однопартийность», не позволяющая порой даже высказываться в средствах массовой информации с точки зрения, не совпадающей с «официально принятой». И хотя эта черта кризиса не является главной, она способна завести отдельные направления науки в долговременный тупик.

По сути дела все многообразие называемых причин кризиса геофизической науки может быть сведено в три группы: 1 – экономические, 2 – организационные, 3 – идейные причины. Если первая и третья группы могут считаться независимыми, хотя и взаимовлияющими, то вторая является промежуточным, связующим звеном между ними. Она полностью зависит от существующей идеологии и экономических возможностей реализации этих идей. Таким образом, основная причина кризиса геофизики может находиться либо в группе экономических, либо в группе идейных причин.

Несомненно, кризис экономики существенно влияет на состояние геофизики. Но если он является основной причиной кризиса геофизической науки, то почему в таком случае анализ тенденций развития геофизики за рубежом [5] приводит к выводу, что за последние 20 лет в геофизике нефти и газа мало что изменилось в части базовых научных подходов, несмотря на значительные достижения в компьютерных технологи-

ях и ужесточающиеся экономические требования? Конечно, по сравнению с происходящим в нашей стране, в зарубежных геофизических компаниях пока тишь да гладь, но ведь так все выглядит только за счет прекрасной материально-технической базы и внушительных финансовых вложений в НИР. Российские нефтяные компании, сотрудничающие с иностранными геофизическими компаниями, отмечают недостатки и у них [6]. Следовательно, основные причины кризиса геофизической науки государственных границ не имеют.

Значительно раньше к аналогичному выводу пришел видный американский науковед Д. С. Прайс, считавший, «что нынешний экономический кризис, или упадок, идет по пятам за спадом в науке и технике. В любом случае ... замедление роста науки – одна из причин, а не следствие экономического кризиса» [7]. Он подчеркивал, что замедление роста науки, предшествующее кризисной ситуации, – явление вполне закономерное и не зависящее от общественного строя и состояния экономики.

Отсюда следует, что аргумент: все определяется состоянием экономики, потому что нет такого краха в зарубежной науке, да и в советские времена, при приличном финансировании геофизики, такого кризиса не было – нельзя считать состоятельным. Деньги – это только катализатор, замедляющий или ускоряющий процесс, а основа науки, ее движущая сила – это все-таки ученые со своим мировоззрением и своими идеями. Следовательно, именно здесь, в области идей, следует искать основные причины кризиса, как всей отечественной науки, так и геофизической – в частности.

Основной причиной кризиса геофизики, с нашей точки зрения, является **непонимание** законов строения знания и целостности его структуры. Или в более общей формулировке: **прогрессирующая понятийная близорукость человечества**, приводящая к тому, что **знания все дальше отдаляются от понимания**, т. е. разрыв между постоянно ускоряющимся процессом накопления знаний и осознанием их все увеличивается. В погоне за новым знанием мы стали забывать, что «науку образуют не знания, но понимание; из знаний же имеют к ней отношение только те, которые имеют целью образовать понимание и ведут к нему» [8]. Концентрируя свои силы на получении какого-либо конкретного знания, многие ученые перестали понимать, что формируют фундамент будущего, что от решения сиюминутных задач, стоящих перед ними, или нахождения «блестящих выходов» из них зависит, насколько «твердо» или «зыбко» будет будущее науки и, в конечном итоге, всего человечества. Жизнь одним днем, под девизом: «После нас хоть потоп», – приводит к отсутствию понимания того, что найденный сегодня выход из конкретной проблемы и отрапортованный как полное ее решение обернется в будущем или необходимостью возвращения к этой задаче и ее решению, или к поддержанию и, что еще хуже, дальнейшему увеличению заблуждения. Второе значительно легче, но ведет в тупик. Наблюдаемая деградация понятийного аппарата геофизической науки может быть проиллюстрирована примером развития стационарных методов ядерной геофизики.

Бурное развитие ядерной геофизики, начавшееся в середине прошлого века, явилось следствием развития ядерной физики. Смыслом использования ядерно-геофизических исследований в геологии была возможность увеличения информации о геологических объектах, точнее – *возможность получения информации на качественно новом, ранее невозможном уровне*. Однако с течением времени под влиянием конъюнктуры открытые ядерной физикой различные эффекты микромира стали жестко привязывать к определенным петрофизическим параметрам: прохождение нейтронов через вещество – к водонасыщенной пористости, прохождение гамма-квантов – к объемной плотности. Сиюминутные потребности геологии при этом были удовлетворены, но то самое получение информации о веществе на качественно новом уровне, ради которого и разрабатывались ядерные методы, постепенно стало сворачиваться и сводиться к непосредственному определению требуемых петрофизических параметров, а каждый ядерно-геофизический метод стал методом решения одной геологической задачи. В результате мы не имеем ни достоверного определения петрофизических параметров, ни информации о веществе на качественно новом уровне.

Чтобы не быть голословным, рассмотрим в первом приближении решение геологических задач двумя наиболее распространенными методами. Все *знают*, что аппаратура нейтрон-нейтронного каротажа (ННК) **измеряет** водонасыщенную пористость горных пород, а гамма-гамма плотностного (ГГК-П) – их объемную плотность. К сожалению, практически никто *не задумывается* даже о принципиальной возможности или невозможности подобного. Напомним, что коэффициент водонасыщенной пористости – это отношение объема пор, заполненных водой, к общему объему породы, а объемная плотность – масса вещества в единице объема. Думается, нелишним будет напомнить, что в случае ННК регистрируется, а следовательно, и **измеряется** количество нейтронов, а в ГГК-П – гамма-квантов за определенное время, дошедших от источника до детектора. У обоих методов имеются достаточно хорошо разработанные теории, из которых следует, что количество дошедших до детектора нейтронов зависит от таких параметров, как сечение рассеяния и сечение поглощения нейтронов на ядрах и атомах породы, а количество гамма-квантов – от величины комптоновского рассеяния и фотоэффекта. Но это в теории, а на практике количество измеренных нейтронов и гамма-квантов напрямую «связывают» с величиной коэффициента пористости и объемной плотности, измеренных на моделях различных сред. В результате теория и практика связаны друг с другом только словом, в одном случае – нейтрон, а в другом – гамма-квант. Подтверждение этому можно получить из справочника по ядерной геофизике [9]: «Для стационарных модификаций НК, применяемых при исследовании разведочных нефтегазовых скважин, измеряемые параметры калибруются в единицах кажущейся (нейтронной) пористости

породы $k_{\text{пк}}$. $k_{\text{пк}}$ равна истинной пористости, если условия измерения в скважине совпадают с условиями получения зависимости $I = f(k_{\text{пк}})$ на моделях горных пород».

При таком положении дел ничто не мешает поменять местами петрофизические параметры, определяемые этими методами, поскольку осуществляется это на основе корреляционной связи. Например, возможность получения коэффициента пористости, по данным ННК, объясняется наличием корреляционной цепочки: регистрируемая плотность потока нейтронов → аномально высокое сечение рассеяния нейтронов на ядрах водорода → водородосодержание → влажность → коэффициент пористости. Но ведь корреляционная зависимость – это зависимость вероятностная, с неизвестной строгой функциональной связью, определить которую или хотя бы уточнить можно, но зачастую весьма и весьма сложно. А раз так, зачем забивать голову всякой чепухой типа «мифических ядерно-физических параметров» или «художественной прозой о жизни нейтронов», когда стране нужны нефть, газ и, «на худой конец», информация о пористости коллекторов. Вот мы и минуем все промежуточные этапы, «привязывая» измеренную величину плотности потока нейтронов к величине пористости, а потом еще удивляемся, почему это погрешность определения $K_{\text{п}}$ доходит аж до 100 %.

Для уменьшения величины этой погрешности используются новые материалы и элементная база, придумываются многочисленные компенсирующие аппаратные устройства. Но неужели не понятно, что каким только компенсированным-раскомпенсированным ни будет прибор ННК, он все равно будет измерять плотность потока нейтронов и никогда не будет измерять пористость горных пород; что если на величину регистрируемых нейтронов влияют сечение рассеяния и сечение поглощения нейтронов исследуемой средой, то именно эти ядерно-физические параметры мы можем и обязаны рассчитать, выполнив первое качественное преобразование (качественный скачок) и осуществив, через *понимание* процесса, переход от измеренного к определяемому.

Следующий этап – качественный переход от рассчитанных ядерно-физических параметров к петрофизическим параметрам – произойдет после осознания необходимости и возможности подобного преобразования, более глубокого понимания происходящих процессов и определения, на основании этого, точной физико-математической зависимости. И так далее. Понять это мы не хотим, но хотим, измеряя плотность потока нейтронов, все точнее и точнее определять коэффициент пористости и не только его. Мы **не осознаем**, что стрелочками в корреляционной цепочке определения коэффициента пористости указаны этапы качественного преобразования ЗНАНИЯ одного уровня в ЗНАНИЕ другого, возможные только через **понимание** происходящих процессов. Наше же стремление получать знание более обобщающего уровня, не осознав знаний более фундаментальных уровней, можно уподобить эквилибристу на цилиндрах. При постоянном увеличении числа цилиндров, на которых эквилибрист балансирует, он все равно когда-нибудь упадет, каким бы виртуозом ни был. Аналогичное ждет и ядерную геофизику, если не произойдет пересмотра ее основополагающих принципов, да и не только ее.

Визуализируя смысл сказанного, можно представить решение геологической задачи в виде треугольника (см. рисунок), в основании которого находятся измеряемые геофизические величины, а в вершине – искомое решение.

Возвращаясь к определению пористости по данным ННК в настоящее время, мы имеем схему, в которой измеренная плотность потока нейтронов непосредственно и жестко связана с величиной пористости. При этом решается только одна геологическая задача, а жесткая привязка без строгого физико-математического обоснования приводит к большим погрешностям в результатах. В то же время, если мы даже не полностью выполняем первое качественное преобразование знания, определяя только соотношение нейтронных параметров, что возможно с серийной двухзондовой аппаратурой, ННК уже перестает быть методом решения одной задачи, и появляется возможность, в случае минерализованных пластовых вод, решать новую для ННК задачу определения характера насыщения коллекторов. Появляется при новом подходе и возможность определения времени жизни регистрируемых нейтронов со стандартной аппаратурой и стационарным источником нейтронов, что в настоящее время осуществляется только с генераторами нейтронов. При полном же преобразовании данных ННК в знание более высокого уровня, т. е. расчета нейтронных параметров, результаты его могут быть использованы при решении любых геологических задач, в которых ядерно-физические параметры информативны, но... Но это не вписывается ни в устоявшиеся традиции ядерной геофизики, ни в устоявшееся мировоззрение геофизиков. И подтверждение тому – стандарты ЕАГО 030-01 и 031-01, узаконившие еще в 1996 г. в практической геофизике укоренившееся искаженное представление об аппаратуре ННК и ГТК-П как измерителях водонасыщенной пористости и объемной плотности горных пород.



Примерная схема решения геологической задачи.

▨ Качественное преобразование одного вида информации в другой.

Любые попытки «прямолинейного» сведения законов или понятий, действующих в микромире или в мегамире, к уровню имеющихся на данный момент времени человеческих ощущений и восприятий ошибочны, их результатами становится создание все большей иллюзии мира и происходящих в нем процессов. Постоянно пользуясь найденными выходами из проблем, т. е. догадками, мы привыкаем к этому, совершенно забывая, что знания эти искаженные, что их необходимо постоянно корректировать. Стремление же ко все большему знанию при «закрывании глаз» на нерешенные проблемы создает все большее заблуждение. Незнание структуры построения знания приводит к тому, что геофизиков стимулируют за получение информации только по трем верхним градациям рисунка, и именно на уровне петрофизических параметров заканчивается уровень интересов и финансовой поддержки добывающих предприятий. Два нижележащих уровня качественных преобразований, даже если наличие их и не отрицается геологическими и геофизическими руководителями различных рангов, считаются хобби методистов. К чему это приводит, мы уже наблюдаем, а к чему может привести в конечном итоге, нетрудно догадаться.

Таким образом, основная причина кризиса ядерной геофизики, а по аналогии с ней и всех остальных направлений геофизической науки и науки вообще заключается в стремлении получения неискаженного знания более обобщающих уровней с позиций понимания более фундаментальных уровней (и наоборот) без затрат сил на осознание и преодоление связывающих их между собой качественных (понятийных) преобразований. Следовательно, наблюдаемый в настоящее время в геофизической науке кризис вполне может быть охарактеризован как кризис понимания.

Отсюда следует, что пока не придет осознание того, что решение все возрастающих проблем находится на все более фундаментальных уровнях и не будут вкладываться силы и средства в выполнение необходимых качественных преобразований знания одного уровня в знание другого, кризис геофизической науки, как и всех остальных, будет только углубляться. Исправить положение не смогут ни отдельные прорывные технологии, как их принято сейчас называть, ни попытки реорганизации геофизической науки, ни увеличение финансирования. Все это сможет лишь на некоторое время продлить жизнедеятельность геофизики, но не ликвидировать кризис. До тех пор, пока решение проблемы понимания не сдвинется с «мертвой точки», ни о каком изменении в лучшую сторону говорить не приходится.

Возможность преодоления кризиса геофизической науки появится только в том случае, когда эта проблема станет болью всех специалистов, имеющих отношение к геофизике, а особенно руководителей, как распорядителей имеющихся сил и средств, и ученых, которые должны гораздо лучше осознавать и настаивать на решении возникающих проблем. Для этого в первую очередь необходимо осмыслить закономерность происходящего и осознать имеющееся знание. Противоречия же теории и практики всех уровней необходимо сделать не только общеизвестными, но постоянными «камнями преткновения», а не сглаживать и уж тем более не «замазывать» их. На этой основе реформировать и высшую школу. Это тяжелый и долгий путь, т. к. нет ничего более консервативного, чем мировоззрение сложившегося специалиста, в особенности титулованного администратора, определяющего приоритеты развития отрасли. Есть, разумеется, и другой путь, уже проторенный, более легкий, но ... короткий.

Цицерон говорил: «Время устраняет предрассудки и утверждает законы природы». Судя по всему, ждать, осталось недолго.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Гарипов В. З., Гогоненков Г. Н., Михальцев А. В.* Геологические проблемы – геофизические решения // Геофизика. 1994. № 1. С. 2-8.
2. *Савостьянов Н. А.* Геофизическая наука: вчера, сегодня, завтра // Геофизика. 1996. № 5-6. С. 3-9.
3. *Причины кризиса геофизической науки и пути выхода из него* // Геофизика. 1997. № 2. С. 3-12.
4. *Кондратьев О. К.* Кризис геофизической науки и пути выхода из него // Геофизика. 2001. № 5. С. 3-9.
5. *Stoneley R.* Petroleum Geology: science or technology? // I. Petroleum Geology. 1997. 20. № 1. P. 124-125.
6. *Поздеев Ж.А.* О качестве новых разработок в области ГИС и достоверности получаемых результатов // НТВ «Каротажник». № 87. С. 9-13.
7. *Прайс Д.* Неизбежность упадка // «Литературная газета». 25.08.1971.
8. *Розанов В. В.* О понимании (опыт исследования природы, границ и внутреннего строения науки как цельного знания). М.: Танаис, 1996. 808 с.
9. *Скважинная ядерная геофизика: Справочник геофизика* / Под ред. О. Л. Кузнецова, А. Л. Поляченко. М.: Недра, 1990. 36 с.

ПРОБЛЕМА РАДОНА НА СРЕДНЕМ УРАЛЕ

ЖУКОВСКИЙ М. В., ЯРМОШЕНКО И. В., ЕКИДИН А. А., ПАВЛЮК А. В., КИРДИН И. А., ШУСТОВ А. М.,
Институт промышленной экологии УрО РАН

Введение

Радон – природный радиоактивный газ, элемент цепочки распада ^{238}U . Образуюсь в почве и материалах строительных конструкций зданий, радон поступает в жилища. Особенности конструкции и содержания зданий различного назначения, в том числе жилищ, обуславливают относительно более высокие уровни накопления радона по сравнению с содержанием радона в наружной атмосфере. В некоторых случаях накопление радона в зданиях может достигать значительных уровней, сравнимых с содержанием радона в урановых шахтах. Активные исследования облучения населения радоном и его ДПР в жилищах начались в 1970-х–1980-х годах. По результатам большого числа исследований, проведенных в различных странах, было установлено, что радон и его ДПР вносят значительный вклад в суммарную дозу облучения населения [0].

В настоящее время известно, что вдыхание короткоживущих продуктов распада ^{222}Rn (радона) и в меньшей степени ^{220}Rn (торона) – основной путь облучения легких. Это облучение главным образом осуществляется α -частицами, излучаемыми ДПР изотопов радона, и приводит к индуцированию рака легких.

Актуальность исследований радиационного воздействия естественных источников излучения, в частности радона и его дочерних продуктов распада, уже ни у кого не вызывает сомнения. Даже в случае значительного загрязнения территорий искусственными радионуклидами, в частности территория Восточно-Уральского радиоактивного следа (ВУРСа) в Свердловской области, облучение населения от естественных радионуклидов (ЕРН), в первую очередь от радона, определяет основную часть дозовой нагрузки на население. Следующими по значимости вклада в дозу облучения населения идут медицинские процедуры. Штатная работа предприятий ядерно-топливного цикла вносит суммарный вклад в облучение населения на уровне примерно 1 % [2, 3].

Учет дозовых нагрузок от естественных радионуклидов важен при сопоставительном анализе последствий тех или иных радиационных аварий или штатной деятельности предприятий ядерно-топливного цикла. Такой учет позволяет определить приоритеты реабилитационных мероприятий, направленных на снижение радиационных нагрузок на население. Это снижение может быть более эффективным и менее дорогостоящим при проведении работ по ограничению облучения населения от радона и его дочерних продуктов распада (ДПР) [0].

В ряде развитых стран в рамках национальных и региональных исследовательских и правительственных программ в последнее десятилетие начаты и проводятся работы по оценке доз облучения от ЕРН. В России с этой целью в 1994 году была принята Федеральная целевая программа «Радон», направленная на ограничение облучения населения от природных источников ионизирующего излучения. С 1995 г. в рамках федеральной программы осуществляется Свердловская областная программа «Радон», которая, к сожалению, в настоящее время практически не функционирует.

Оценка уровней облучения радоном населения с учетом специфики региона требует проведения соответствующих исследований. Это относится к процессам накопления изотопов радона и его ДПР в атмосфере помещений, связанным с типовыми характеристиками зданий, геологией и климатическими условиями региона. Для корректной оценки среднегодовых значений эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) радона необходимо получить данные о региональных характеристиках сезонной вариабельности объемной активности радона и величине коэффициента равновесия для конкретных условий. До сих пор эти вопросы остаются малоизученными [0]. Определенный опыт решения таких проблем накоплен за рубежом и в нашей стране, однако его применение требует критической оценки с учетом региональных особенностей.

Нормативно-правовое обеспечение радоновых обследований

За последние 8 лет принципиально изменилось нормативно-правовое поле осуществления государственного санитарно-эпидемиологического надзора по ограничению облучения населения природными источниками ионизирующего излучения. Приняты следующие Федеральные законы:

- «О радиационной безопасности населения» (№ 3-ФЗ от 9 января 1996 года);
- «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» (№ 52-ФЗ от 30 марта 1999 года);
- Постановление Правительства Российской Федерации от 28 января 1997 года № 93 «О порядке разработки радиационно-гигиенических паспортов организаций и территорий».

В них, наряду с другими документами, изложены требования по обеспечению радиационной безопасности при облучении населения природными источниками ионизирующего излучения. В развитие этих основополагающих нормативно-правовых документов госсанэпидслужбой Российской Федерации подготовлен целый ряд организационно-распорядительных и нормативно-методических документов, а именно:

- Постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации № 22 от 25.09.97 «Об утверждении типовых форм радиационно-гигиенических паспортов»;
- СанПиН 2.1.4. 559-96 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества». Утверждено Постановлением Госкомсанэпиднадзора России № 26 от 24 октября 1996 года (введены в действие с 1 июля 1997 года).
- Методические указания «Порядок заполнения и ведения радиационно-гигиенических паспортов организаций и территорий». М., 1997. Утверждены заместителем Главного государственного санитарного врача Российской Федерации 30 декабря 1997 г., МУ-177-112;
- Методические указания «Проведение радиационно-гигиенического обследования жилых и общественных зданий». С.-Петербург, 1998. Утверждены и введены в действие Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 24 августа 1998 года, МУ 2.6.1.715-98;
- Санитарные правила «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99)» СП 2.6.1.758-99, утверждены Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 2 июля 1999 года;
- Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99) СП 2.6.1.799-99, утверждены Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 27.12.1999 года;
- Санитарные правила «Обращение с минеральным сырьем и материалами с повышенным содержанием природных радионуклидов» СП 2.6.1.798-99, утверждены Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 23 декабря 1999 г.

Контролируемой величиной в зданиях и сооружениях, согласно НРБ-99, является среднегодовое значение эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) изотопов радона (^{222}Rn – радона и ^{220}Rn – торона) в воздухе помещений:

$$\text{ЭРОА}_{\text{изотопов}} = \text{ЭРОА}_{\text{Rn}} + 4,6 \cdot \text{ЭРОА}_{\text{Tn}}, \quad (1)$$

где

$$\text{ЭРОА}_{\text{Rn}} = 0,104 \cdot A_{\text{RnA}} + 0,514 \cdot A_{\text{RnB}} + 0,382 \cdot A_{\text{RnC}}; \quad (2)$$

$$\text{ЭРОА}_{\text{Tn}} = 0,913 \cdot A_{\text{ThB}} + 0,087 \cdot A_{\text{ThC}}, \quad (3)$$

где A_{RnA} , A_{RnB} , A_{RnC} , A_{ThB} , A_{ThC} – объемная активность в воздухе RaA (^{218}Po), RaB (^{214}Pb), RaC (^{214}Bi), ThB (^{212}Pb), ThC (^{212}Bi) соответственно, Бк/м³.

Переход от ОА радона к ЭРОА радона может быть осуществлен с помощью следующего выражения:

$$\text{ЭРОА}_{\text{Rn}} = \text{ОА}_{\text{Rn}} \cdot F_{\text{Rn}}, \quad (4)$$

где F_{Rn} – коэффициент равновесия, характеризующий сдвиг радиоактивного равновесия между радоном и его ДПР.

Согласно НРБ-99 (п. 5.3.2) [19], среднегодовое значение ЭРОА изотопов радона и торона, определенное по формуле (1), в воздухе помещений проектируемых новых зданий не должно превышать 100 Бк/м³, а в воздухе помещений эксплуатируемых зданий эта величина не должна превышать 200 Бк/м³.

Эколого-геохимические зоны Свердловской области

При проведении радонового обследования территории зачастую необходима информация о геологических особенностях того или иного района, позволяющая с определенной вероятностью ожидать повышенные уровни облучения радоном в некоторых населенных пунктах. Хотя известно, что наиболее существенным фактором, влияющим на объемную активность радона в помещении, является не столько геологическая характеристика региона, сколько конструкция здания и режим его содержания [0].

Наиболее подробно геологическое строение Уральского региона изучено государственным геолого-разведочным предприятием «Зеленогорскгеология». Данные по геофизическим особенностям региона в целом и Свердловской области – в частности, накапливались с начала 50-х годов.

Специалистами данного предприятия выделен ряд характерных эколого-радиогеохимических зон на территории Свердловской области (рис. 1) [7, 21], характеризующихся повышенным уровнем естественной радиоактивности верхней части литосферы, наличием радиоактивных подземных вод, широким развитием локальных скоплений радиоактивной минерализации и радиометрических аномалий. На основе геологиче-

Таблица 1

Эколого-радиохимические зоны Свердловской области

Название зоны	Расположение	Потенциальные радоноопасные участки	Рейтинг радоноопасности	Населенные пункты, расположенные в пределах зоны
Висимско-Бардымская зона (I)	Расположена в основном в осевой части Уральских гор и только на самом юге Свердловской области частично заходит на западные склоны Урала	35	Высокий	Билимбай, Первоуральск, Ревда, Верхние Серги и др.
Тагильская зона (II)	Расположена на восточном склоне Урала и приурочена к одноименному прогибу	32	Высокий	Нижний Тагил, Кушва, Краснотурьинск, Волчанск, Красноуральск и др.
Верх-Исетско – Шарташская зона (III)	Расположена на восточном склоне Уральских гор в пределах западной части Восточно-Уральского поднятия	25	Высокий	Екатеринбург, Верхняя Пышма, Березовский, Среднеуральск, Арамилы, поселки Медный, Верхнемакарова, Сысерть, Кашино, Кадниково, Черданцево и др.
Мурзинско-Камышевская зона (IV)	Занимает выровненную поверхность восточного склона Уральских гор	24	Максимальный	Асбест, Реж с примыкающими поселками, Мезенское, Большебрусянское, Марамзино, Камышево, Головырино, Шилово, Сосновское, Новоипатово
Восточно-Уральская (Зауральская) зона (V)	Расположена в пределах Зауральской равнины, где складчатые структуры Урала (Зауральское поднятие и частично Восточно-Уральский прогиб) в разной степени покрыты чехлом осадочных пород Западно-Сибирской платформы	22	Высокий	Алапаевск, Каменск-Уральский, Сухой Лог, Богданович, Артемовский и др.
Западно-Уральская зона (VII)	Расположена на западном склоне Уральских гор и частично на равнине Предуралья	12	Низкий	Кузино, Нижние Серги, Дружинино и др.
Сысертьско-Ильменогорская зона (VIII)	Расположена непосредственно к югу от Верх-Исетско-Шарташской зоны на восточном склоне Уральских гор, частично охватывая осевую часть Уральского хребта	4	Максимальный	Верхняя Сысерть, Мраморский, Косой Брод

подробная информация по эколого-радиохимическим зонам Свердловской области представлена в табл. 1.

Методы и средства определения уровней радона в помещениях

В настоящее время методы измерения объемной активности радона в воздухе достаточно развиты и позволяют проводить массовые обследования уровней накопления радона в помещениях.

Методы, применяемые в настоящее время в мире, можно разделить на три основных группы [0]:

Первая группа – аспирационные, «мгновенные методы», которые позволяют проводить только инспекционные измерения активности радона. Погрешность определения объемной активности радона вследствие значительных суточных вариаций уровней накопления радона в помещениях экспрессными методами неприемлемо высока.

Вторая группа – это интегральные методы, позволяющие проводить измерения, экспонируя детектор в атмосфере помещения от нескольких дней до нескольких месяцев. Эти методы дают возможность учесть только суточные и среднесрочные изменения уровней накопления радона. При продолжительности времени экспонирования один год или проводя несколько последовательных измерений, можно с достаточно высокой точностью измерить среднегодовую ОА радона в помещении.

Третья группа – так называемые ретроспективные методы измерения радона. Они позволяют учитывать долгосрочные вариации радона в жилищах и реконструировать ОА радона за предыдущие годы. Данный метод не получил большого распространения на территории РФ и поэтому в данной статье нами не рассматривается.

Аспирационные методы

Аспирационные методы измерения ЭРОА изотопов радона осуществляются путем применения приборов, основанных на кратковременном отборе проб воздуха (т. н. инспекционные методы). Эти методы широко используются для предварительной оценки радиационной обстановки в жилых помещениях; определения однородности распределения радона по помещениям квартиры или односемейного дома; оценки радиационной обстановки на промышленных предприятиях и т. д. Одновременное определение ОА радона и его ДПР при помощи таких методов позволяет уточнить значение коэффициента равновесия F_{Rn} между радоном и его ДПР по сдвигу равновесия между отдельными дочерними продуктами распада [0].

В основу аспирационных методик определения ЭРОА изотопов радона положен принцип временной дискриминации α -излучения осевших на фильтр аэрозолей дочерних продуктов ^{222}Rn и ^{220}Rn , имеющих разные значения постоянных распада.

Данными методиками предусматривается отбор проб аэрозолей из воздуха на фильтр АФА-РСП (РМП) путём покачивания воздуха через фильтр в течение заданного времени и измерении активности ДПР, осевших на фильтре.

При прокачке воздуха через фильтр происходят два процесса:

а) оседание нуклидов ^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi (RaA-RaC) или ^{216}Po , ^{212}Pb , ^{212}Bi (ThA-ThC) на фильтре и рост их активности в процессе прокачки;

б) распад радиоактивных аэрозолей и накопление продуктов их распада (при распаде осевшего на фильтр RaA образуется RaB и далее – RaC).

Для определения объемной активности ДПР радона в воздухе и уровня скрытой энергии обычно проводят от одного до трех измерений активности фильтра. Они могут проводиться как в процессе прокачки, так и через некоторое время после ее окончания. Наиболее распространены методы, основанные на определении γ -активности фильтра. Методы измерения по γ -излучению имеют меньшую чувствительность и более высокую погрешность измерения.

Преимуществом методов является то, что в настоящее время измерения содержания торона (^{220}Rn), необходимые при проведении радоновых обследований, можно проводить только с использованием аспирационных методик. Существующие интегральные методы определения ОА газообразного торона непригодны для оценки ингаляционного облучения населения, поскольку не позволяют корректно учесть величину сдвига равновесия между тороном и его ДПР в жилищах.

Для оценки среднегодовых значений радона в помещениях аспирационные методы мало перспективны, поскольку для достаточно корректной оценки потребуется проводить слишком большое количество измерений в каждом помещении, а для учета долгосрочных вариаций радона в помещении и вовсе непригодны [0, 0].

Несмотря на все это по ряду практических и финансовых причин в крупномасштабных эпидемиологических исследованиях, включающих сотни субъектов и многие регионы, реконструкция облучения радоном не

проводится. На практике в этих исследованиях измеряются мгновенные значения объемной активности радона и на этой основе рассчитывают уровни облучения радоном и используют их в качестве замены долговременной экспозиции по ДПР радона, что приводит к значительным ошибкам при оценке доз облучения.

Интегральный метод

Определение средней ОА радона за длительные промежутки времени позволяет избежать ошибок, вызываемых временными вариациями ОА радона. Такому требованию удовлетворяют интегральные методы измерения. Одним из наиболее эффективных интегральных методов является метод, основанный на применении твердотельных трековых детекторов. Достоинствами трековых детекторов являются: относительно невысокая стоимость, нечувствительность к сопутствующему γ - и β -излучению, способность к длительному хранению информации. Интегральные трековые детекторы применялись при проведении большинства национальных радоновых обследований [0].

Определение ОА радона при помощи трековых детекторов основано на следующем принципе [0,0,0]: заряженные частицы, проходя через различные материалы (в первую очередь, через диэлектрики), теряют вдоль своего пути энергию, что приводит к радиационным нарушениям в веществе. В результате вдоль траектории частицы образуется область, в которой находится вещество с измененной структурой. Как правило, эта область обладает повышенной химической растворимостью и называется скрытым или латентным треком. Благодаря отсутствию в диэлектриках свободных электронов, область латентного трека достаточно стабильна и, в зависимости от состава материала, температуры и влажности среды, может сохраняться без изменений от нескольких суток до нескольких лет. При воздействии на диэлектрики с латентными треками специально подобранных растворителей происходит образование на поврежденных участках конических или цилиндрических каналов, уходящих от поверхности в глубь материала (выявленные треки). Для регистрации легких ядер и α -частиц в России наиболее широко применяются нитроцеллюлозные (LR-115, CN-85) и аллилгликолькарбонатные (CR-39) пленки.

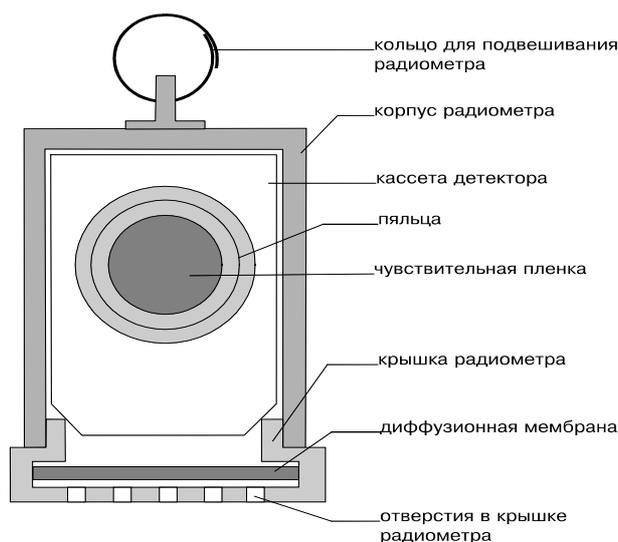


Рис. 2. Интегральный трековый радиометр радона

Для проведения измерения ОА радона твердотельный трековый детектор размещается в специальном корпусе, в т. н. интегральном трековом радиометре радона (ИТРР). Варианты исполнения данной конструкции могут быть самыми разными. На рис. 2 представлен один из типовых вариантов ИТРР, который конструктивно состоит из корпуса с отверстиями для доступа ^{222}Rn из атмосферы и регистрирующего α -частицы элемента – трекового детектора, расположенного в корпусе. Методика выполнения измерений обеспечивает определение ОА ^{222}Rn в воздухе с использованием ИТРР с относительной погрешностью, не превышающей $\pm 25\%$ [0]. Непревышение указанной нормы погрешности гарантируется при значениях ОА ^{222}Rn в воздухе до $5 \cdot 10^5$ Бк/м³ и продолжительности экспозиции до 200 суток.

Комплекс для определения интегральной ОА радона состоит из следующих средств измерения и устройств:

- интегральные трековые радиометры радона;
- автоматический искровой счетчик треков (например, «АИСТ-2»);
- травильное устройство с водяным термостатом.

Радионное обследование территории

Законом РФ «О радиационной безопасности населения» и Постановлением Правительства Российской Федерации № 93 от 28.01.97 г. предусмотрено ведение радиационно-гигиенических паспортов территорий. Основная информация, которая должна содержаться в паспорте территории, – это значения эффективных доз облучения населения, обусловленных всеми источниками ионизирующего излучения. Как уже упоминалось выше, наибольший вклад в дозу облучения населения вносят природные источники, прежде всего, изотопы радона и их короткоживущие ДПР, содержащиеся в воздухе жилых и других помещений, а также наружной атмосфере. Поэтому для оценки облучения населения этими источниками ионизирующего излучения необходимо проведение радиационного обследования существующего жилого фонда. Перед такими обследованиями обычно ставятся следующие задачи:

- оценка степени актуальности проблемы радона;
- получение несмещенной оценки среднего уровня облучения населения;
- определение характера и параметров распределения активности радона в помещениях;
- выявление максимальных уровней облучения;
- оценка доли жилищ, в которых накопление радона превышает нормируемый уровень;
- выявление основных признаков радоноопасности зданий и сооружений;
- установление зон с высоким радоновым потенциалом.

На основании результатов выполнения первого этапа выборочного обследования планируется дальнейшая программа обследования с целью выявления максимально возможного числа зданий с повышенным содержанием радона.

Существуют различные представления о том, какой объем выборки помещений, в которых необходимо проводить измерения, обеспечивает ее представительность. Дирекция Российской федеральной программы «Радон» определяет, что объем выборки обследуемых жилых единиц следует выбирать из расчета не менее 1 % от их общего числа в регионе. В населенных пунктах с малым числом жителей плотность выборки увеличивается в кратное число раз, например 2, 5, 10 и даже 100 %, исходя из условия, чтобы в каждом из них было обследовано не менее 20 жилых единиц [22]. Если ожидается, что только несколько процентов населения подвергается облучению свыше нормируемого уровня, необходимо иметь выборку в несколько тысяч жилищ, чтобы оценить точно эту часть. Объем выборки в этом случае больше зависит от параметров распределения и той информации, которая должна быть извлечена из результатов и меньше зависит от размеров жилого фонда.

При планировании и проведении радионного обследования необходимо учитывать региональные особенности процессов поступления и накопления изотопов радона и его ДПР в атмосфере помещений, связанные с типовыми характеристиками зданий, геофизическими и климатическими условиями региона. В первую очередь для корректной оценки уровней облучения необходимо изучать региональные характеристики сезонной вариабельности ОА радона и сдвига равновесия между радонам и его ДПР.

Ключевыми моментами и основными этапами радионного обследования территории являются:

- составление выборки помещений;
- выбор методов измерений;
- проведение измерений;
- изучение региональных характеристик коэффициента равновесия и сезонных вариаций ОА радона;
- анализ результатов.

Качество получаемых при радионном обследовании оценок в значительной степени зависит от правильного формирования выборки объектов обследования и корректности приведения результатов измерения к единому виду. В идеале несмещенные оценки достигаются в том случае, когда выборка формируется случайным образом из всего жилого фонда. Две основные причины препятствуют реализации такой стратегии:

- 1) отсутствие или недоступность полного регистра жилых зданий;
- 2) домовладельцы, выбранные случайным образом, могут отказаться от сотрудничества.

Кроме того, источниками данных для создания выборки могут быть: почтовые адреса, список для голосования, список плательщиков налогов, иногда телефонные справочники и т. п. Другие способы выбора точек обследования, такие, как использование добровольцев или местных государственных служащих, не рекомендуются, так как могут привести к созданию смещенной выборки [0].

В случае, если не удается использовать случайный подход, качество выборки жилищ, сформированной с применением других подходов, контролируется с учетом равномерного расположения объектов обследования на территории населенного пункта и представительного учета основных типов жилья.

Распределение значений объемной активности радона в помещениях территории обычно следует логнормальному закону, хотя отклонения иногда встречаются. Измеренные активности радона распределены логнормально в тех случаях, когда рассматриваются конкретные области, типы жилищ и конкретные периоды измерения. Распределение отклоняется от логнормального, если смешивать данные существенно различ-

ных областей, и возвращается к логнормальному, если одновременно рассматривать большое количество выборок [0].

Рекомендуется следующая процедура статистической обработки результатов обследования:

1. После выполнения измерений формируется общая выборка результатов по региону и строится гистограмма распределения частоты значений ЭРОА. Гистограмма аппроксимируется логнормальным распределением плотности вероятности. С использованием параметров логнормального распределения рассчитывается математическое ожидание ЭРОА радона для региона. Сравнивая математическое ожидание со среднероссийскими, мировыми и региональными данными, можно сделать вывод о степени актуальности проблемы радона в данном регионе (геологической зоне, населенном пункте и т. д.).

2. На основе анализа характеристик распределения оценивается общее количество жилых единиц в регионе, в которых можно ожидать повышенное содержание радона в воздухе, а также выявляется набор признаков повышенной радоноопасности зданий и степень их значимости.

Задача выявления основных признаков радоноопасности зданий и сооружений в рамках национальных и региональных радоновых обследований решается с применением методов статистического анализа. В ходе обследования документируются характеристики зданий, которые могут повлиять на накопление радона. Конкретный набор таких характеристик составляется с учетом особенностей метеорологических, природных условий, бытового уклада, домостроительных традиций и различен для каждого региона. Можно выделить общие группы рассматриваемых факторов: возраст постройки, тип здания, этажность, тип и характеристики перекрытий, характеристики подвального (подпольного) помещения, состояние строительных конструкций, характеристики систем отопления и вентиляции. Часто отмечается более высокий уровень накопления радона в одноэтажных, односемейных домах по сравнению с многоэтажными многоквартирными домами. Накопление радона на первых этажах многоэтажных зданий выше, чем на верхних, однако это различие не всегда статистически значимо. Выявление георадиохимических признаков радоноопасности и верификация произведенного картирования радоноопасности территорий по этим признакам могут быть проведены на основе статистического анализа результатов обследования ОА радона в жилищах [0].

В связи с тем, что распределение объемной активности радона следует логнормальному закону, при статистическом анализе рассматривают логарифм величины ОА радона и сравнивают средние геометрические значения в выборках [0].

Незначительное количество программ радоновых обследований включало в себя измерения уровней накопления в жилищах торона и его дочерних продуктов. Многие авторы делают вывод о том, что при проведении радоновых обследований необходимо измерять не только активность радона, но и торона. Измерение ЭРОА и радона и торона в жилищах при оценке уровней облучения населения является требованием НРБ-99.

Сезонные вариации радона

Сезонное изменение климатических параметров и режима содержания помещений приводит к появлению разницы в уровнях накопления радона в зимний и летний периоды. Факторы и характеристики, обуславливающие сезонные вариации уровней накопления радона, носят региональный характер.

Существует два подхода к приведению результатов измерения сезонной или долгосрочной ОА радона к среднегодовому значению: температурная нормализация и сезонная нормализация. Нормализация по температуре предполагает связь ОА радона с температурой воздуха [0]. Применение температурной нормализации удобно, если имеется возможность пользоваться результатами регулярных наблюдений разветвленной метеорологической службы, а также если время экспозиции интегрального детектора радона составляет не более 1 месяца (в противном случае вариации температуры в течение срока экспозиции могут быть значительными).

Например, территория Среднего Урала принадлежит к зоне с континентальным климатом и характеризуется значительной межсезонной вариацией климатических параметров. Средняя температура июля составляет 16 °С, января – минус 16 °С. С середины ноября до середины марта устанавливается устойчивый снежный покров. Отопительный сезон начинается в сентябре-октябре и заканчивается в апреле-мае. В течение года явно выражены два сезона, примерно равных по продолжительности, – теплый, в течение которого среднесуточная температура выше нуля, и холодный. В этих условиях применяется сезонная нормализация [0]. Сезонная нормализация значений ОА радона предполагает, что сезонные вариации ОА радона описываются следующими параметрами:

- коэффициент сезонных вариаций k , равный отношению зимней ОА к летней;
- летний и зимний сезонные коэффициенты k_S и k_W , равные отношению среднегодовой ОА радона соответственно к летней (C_S) и зимней (C_W) ОА.

В рамках радоновых обследований для расчета среднегодовой величины ОА радона по данным односезонных измерений удобно использовать сезонные (летний и зимний) коэффициенты. При этом среднегодовая ОА является результатом перемножения сезонной ОА и соответствующего сезонного коэффициента.

В соответствии с подходом, представленным в [0], зависимость между сезонными ОА радона в группах зданий, однородных по своим строительно-конструкционным характеристикам, описывается линейной функцией вида $C_S = A \cdot C_W + B$. При проведении радоновых обследований территорий Свердловской области была получена выборка помещений, в которых измерения проведены в два сезона, что позволило оценить значения A и B для условий Среднего Урала:

Тип здания	A	B
Городские квартиры	0,21	13
Сельские дома	0,5	2,5

Выражения линейной зависимости между сезонными ОА радона, если они известны, можно использовать для расчета сезонных коэффициентов k_W и k_S .

Выявленные закономерности сезонной вариабельности ОА радона в типовых жилищах Свердловской области были использованы для расчета среднегодовой ОА радона в тех жилищах, где измерения проведены только в один сезон.

Коэффициент равновесия

Наибольший вклад в облучение легких вносят ДПР радона, а не сам радон, а значит объемная активность радона сама по себе не представляет большого интереса. Необходимо знать значение ЭРОА радона или рассчитать ее, используя коэффициент равновесия F_{Rn} (см. формулу (4)).

В публикации 65 МКРЗ [0] приводится среднемировое значение коэффициента равновесия $F_{Rn} = 0,4$. В отечественной практике для перехода от объемной активности радона к ЭРОА используется значение $F_{Rn} = 0,5$ [0]. Для отдельных типов помещений, географических регионов и определенного времени года средние значения коэффициента равновесия могут отличаться от указанных величин. Однако корректное их определение сталкивается с определенными техническими сложностями. Во-первых, для непосредственного измерения коэффициента равновесия необходимо одновременно измерять как объемную активность, так и ЭРОА радона, что возможно только с применением двух различных приборов или измерительных схем. Во-вторых, для определения с приемлемой точностью величины F_{Rn} неисключенная систематическая погрешность средств измерения не должна превышать 10 – 15 %. Этим требованиям соответствуют образцовые приборы, применение которых обычно ограничивают только метрологическими задачами.

В связи с этим был предложен метод оценки коэффициента равновесия, исходя из результатов измерения объемной активности ДПР радона аспирационным методом [0]. Использование аспирационных методов для определения коэффициента равновесия позволяет исключить ряд систематических погрешностей (скорость прокачки воздуха через фильтр, эффективность регистрации детектора, эффективность аэрозольного фильтра и др.), так как для определения коэффициента равновесия используется отношение замеров одного цикла измерений.

В качестве основного метода для последующей оценки коэффициента равновесия F_{Rn} был выбран метод Маркова-Терентьева [0], для которого получен обширный массив данных аспирационных измерений ДПР радона и торона. Для оценки характерных значений коэффициента равновесия использованы данные 890 аспирационных измерений ДПР радона, проведенных в рамках радонового обследования Свердловской области. Распределение коэффициента равновесия близко к логнормальному (в диапазоне от 0 до 1) со средним геометрическим 0,41 и стандартным геометрическим отклонением 0,61. По результатам наших исследований, значение коэффициента равновесия варьируется в пределах от 0,44 до 0,53 и имеет характерное значение 0,5.

Радоновое обследование Свердловской области

Радоновое обследование Свердловской области Институт промышленной экологии УрО РАН совместно с Агентством экологической безопасности «Альфа-Х91» проводит с 1991 года. К настоящему моменту обследования проведены в 18 районах и крупных городах Свердловской области. Количество обследованных помещений представлено в табл. 2. В тех населенных пунктах, в которых измерения проводились в жилых помещениях, проживает более 2,3 миллионов человек, что составляет более половины населения Свердловской области.

При радоновом обследовании Свердловской области выборки были сформированы по одному из двух подходов:

1. Случайный выбор домов. Вследствие того, что сельские жители более дружелюбно (по сравнению с городскими) относятся к представителям рабочей группы, проводящей обследование, случайный выбор жилищ был произведен главным образом в сельских населенных пунктах. В таких регионах доля домовладельцев, отказавшихся от сотрудничества, была незначительна (менее 5 %). Для того чтобы эффективно использовать случайный подход к формированию выборки в городах, использовалась помощь средств массовой информации, но и в этом случае доля отказов от участия в обследовании превышала 20 %.

2. Вовлечение организованных групп населения. В основном измерения проводились в квартирах школьников и учителей общеобразовательных учреждений. При этом школа и класс выбирались случайным образом. Детекторы распространялись среди всех учеников выбранного класса. Такой подход подобен случайному выбору объектов исследования и позволяет получить выборку, близкую к несмещенной.

Для представления результатов измерения были поделены на 9 групп в соответствии с тремя типами зданий и тремя типами радоноопасности территорий. В жилищной застройке Уральского региона встречается два основных типа жилья:

Первый тип – сельский дом, как правило, из дерева, одноэтажный, без фундамента и плиты перекрытия между жилым помещением и подпольным пространством.

Второй тип – городской многоэтажный, многоквартирный дом с железобетонными перекрытиями.

В качестве отдельного типа строений рассмотрены детские учреждения – детские сады и школы. Количество обследованных помещений Свердловской области, разделенных по типу, представлено в табл. 2.

Таблица 2

Количество обследованных в Свердловской области жилищ по типу и детских учреждений

Выборка	Количество	В том числе жилищ, в которых измерена ЭРОА торона
Городские жилища	1852	1031
Сельские дома	1136	738

Средние значения по всем выборкам приведены к единому виду – среднегодовой ЭРОА радона или торона. При этом использовались значения коэффициента равновесия радона $F_{Rn} = 0,5$, и, в случае необходимости, проводилась сезонная нормализация в соответствии с подходом, представленным выше. В табл. 3 представлены средние арифметические среднегодовые ЭРОА радона и торона для тех районов и групп жилищ Свердловской области, по которым сформированы выборки, достаточно представительные по количеству данных.

Таблица 3

Средние значения ЭРОА радона и торона в обследованных помещениях Свердловской области

Район	Средние значения ЭРОА радона, Бк/м ³		Средние значения ЭРОА торона, Бк/м ³	
	городские	сельские	городские	сельские
Аргемовский	19	68	2,3	3,63
Белоярский	54	88	1,9	
Богдановичский		46		1,46
В-Пышминский	11	17	2,7	2,48
г. Екатеринбург	13	23		
Каменский	12	51	3,5	4,14
Карпинский	24	41		3,70
Краснотурьинский	148	64		
Красноуфимский	143	115		
Невьянский	22	40	1,5	2,10
Первоуральский	10	10	0,54	1,41
Режевской		90		3,53
Североуральский	35	60		
Сысертский	76	114	2,1	3,47
Талицкий	45	54	3,5	3,41
Шалинский	78	60	3,3	4,31

Значения ОА и ЭРОА радона в выборке помещений распределены в соответствии логнормальным законом. Отклонения от логнормального распределения встречаются в тех случаях, когда выборка является неоднородной, т. е. состоит из групп жилищ, существенно различающихся по характеристикам поступления и накопления радона. Для полученных выборок, сформированных с учетом типов зданий, были рассчитаны

параметры логнормального распределения и среднее арифметическое значение. Известный вид распределения и его параметры позволяют прогнозировать долю помещений, в которых ЭРОА radона превысит определенные референсные уровни. В качестве референсных в данном представлении выбраны величины 100 и 200 Бк/м³ ЭРОА radона, рекомендованные НРБ-99.

Распределение ЭРОА изотопов radона в Свердловской области представлено на рис. 3, параметры данного распределения представлены в табл. 4.

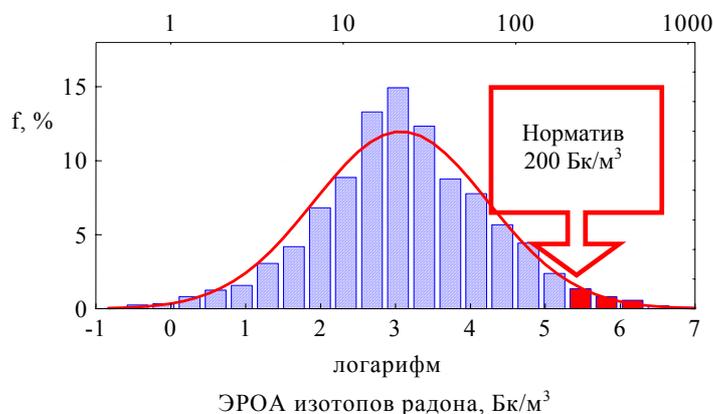


Рис. 3. Распределение ЭРОА изотопов radона в Свердловской области

Таблица 4

Параметры распределения ЭРОА изотопов radона в Свердловской области

ЭРОА	Ср. арифм., Бк/м ³	Ср. геомтр., Бк/м ³	σ_{LN}
Изотопов radона	41	25	0,96
Radона	27	15	1,2
Торона	2,4	1	1,4

Проведенный дополнительно анализ показал, что средние по населенным пунктам уровни ЭРОА radона соответствуют проведенному специалистами-геологами ранжированию территории Свердловской области по потенциалу radоноопасности.

Считается, что уровни накопления торона в жилищах зависят в большей мере от радиационных характеристик строительных материалов. По ряду причин социально-экономического характера использование строительных материалов (добыча сырья, переработка, распространение) территориально привязано к административному делению. Считая в этом отношении первичной административной единицей район и крупный город, рейтинг тороноопасности был определен на основании сравнения выборочных средних ЭРОА торона для соответствующей территории.

Результаты измерения ЭРОА торона были сгруппированы в трех группах в соответствии с тороновым рейтингом района или города (табл. 5).

Таблица 5

Ранжирование районов Свердловской области по степени тороноопасности

Низкая тороноопасность	Средняя тороноопасность	Высокая тороноопасность
Богдановичский Невьянский Шалинский Первоуральский Кушвинский	Верх. Пышминский Сысертский Каменский	Талицкий Режевской Артемовский Белоярский

Для оценки усредненных величин, характеризующих накопление radона и торона в жилищах Свердловской области, использованы средние величины ЭРОА, полученные для двух типов жилищ – квартир в зданиях городского типа и сельских домов, и статистические данные о жилищных условиях населения Свердловской области. В результате были рассчитаны средневзвешенные значения среднегодовой ЭРОА radона и торона в жилищах Свердловской области. Кроме того, в соответствии с требованиями НРБ-99 оценено среднее значение ЭРОА изотопов radона, Бк/м³:

ЭРОА изотопов радона	41
ЭРОА радона	27
ЭРОА торона	2,4

Полученная величина средней для Свердловской области ЭРОА радона в 1,7 раза превышает соответствующую среднемировую величину (16 Бк/м³ [0]). Важной отличительной особенностью облучения населения Свердловской области ДПР торона является тот факт, что средневзвешенное значение среднегодовой ЭРОА торона превышает среднемировое значение в 8 раз.

Более детально облучение населения характеризует вид функции распределения. Получены следующие параметры логнормального распределения ЭРОА изотопов радона, взвешенные по удельной доле сельских домов и городских квартир среди домохозяйств:

	Среднее геометр., Бк/м ³	σ_{LN}
ЭРОА радона	25	0,96
ЭРОА торона	1,0	1,2
ЭРОА изотопов радона	15	1,4

Известная форма и параметры распределения позволяют оценить долю домохозяйств, в которых ЭРОА изотопов радона превышает нормируемые значения: в 7,4 % случаев ЭРОА изотопов радона превышает 100 Бк/м³; в 1,5 % случаев – 200 Бк/м³.

Таким образом, примерно в 30 тысячах жилищ Свердловской области, в которых проживает около 80 тысяч человек, ЭРОА изотопов радона превышает российский национальный норматив 200 Бк/м³. Величина 100 Бк/м³ превышает в 110 тысячах домохозяйств.

Заключение

Проблема облучения населения дочерними продуктами радона является актуальной для Свердловской области. Уровни накопления радона в жилищах (особенно ЭРОА торона) превышает среднемировые значения. Облучение значительного количества населения, прежде всего проживающего в домах сельского типа, превышает допустимые уровни, определенные в НРБ. Органам государственной власти и местного самоуправления следует обращать особое внимание вопросам обеспечения радиационной безопасности населения в части ограничения облучения от природных источников ионизирующего облучения. Первым шагом в этом направлении является оценка существующей ситуации путем анализа геологических и геофизических данных и проведения выборочных радиационно-гигиенических обследований. Представленные в настоящей статье данные могут служить отправной точкой для более подробных исследований и разработки адекватных мероприятий по снижению радиационной нагрузки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Источники и эффекты* ионизирующего излучения: Отчет НКДАР ООН 2000 года с научными приложениями. М., 2002. Т. 2. 319 с.
2. Жуковский М. В., Павлюк А. В. и др. Анализ радиационных рисков для населения зоны влияния предприятий атомного комплекса Уральского региона // Записки Горного института. 2001. Т. 149. С. 30-34.
3. Жуковский М. В., Павлюк А. В. Сопоставление радиационных рисков для населения Свердловской области // Дни науки ОТИ-МИФИ: Тезисы докл. межотраслевой научно-техн. конф. Озерск, 2002. С. 84-85.
4. Крисюк Э. М. Проблема радона – ведущая проблема обеспечения радиационной безопасности населения // АНРИ. 1996/97. № 3. С. 13-16.
5. Терентьев М. В., Стамат И. П., Крисюк Э. М., Павлов И. В. Методические вопросы организации и проведения радиационного контроля зданий и сооружений // АНРИ. 1996/97. № 3. С. 31-36.
6. Mc. Laughlin J.P. Approaches to the assessment of long term exposure to radon and its progeny // The Science of the Total Environment. 2001. Vol. 272. P. 53-60.
7. Жуковский М. В., Яρμοшенко И. В. Радон: измерение, дозы, оценка риска. Екатеринбург: УрО РАН, 1997. 231 с.
8. *Методические рекомендации* по аппаратурному оснащению региональных целевых программ «Радон». М., 1996. 58 с.
9. ГСИ. Объемная активность радона в воздухе. Методика выполнения измерений интегральными трековыми радиометрами радона. СПб, 1992. 11 с.
10. Жуковский М. В., Яρμοшенко И. В., Екидин А. А. и др. Радон в жилых помещениях Среднего Урала: медицинские последствия его воздействия // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2003. Т. 48. № 2. С. 5-17.
11. Zunic Z. C., Yarmoshenko I. V., Zhukovsky M. V. et. al. Statistical Analysis of Radon Survey Results // Proceedings of the 5th International Conference on high Levels of Natural Radiation and radon Areas. 2002. Vol. 2. P. 197-200.
12. *Sources and effects* of ionizing radiation. UNSCEAR 1993 Report to the General Assembly. New York: United Nations, 1993.

13. *Маренный А. М.* Диэлектрические трековые детекторы в радиационно-физическом и радиобиологическом эксперименте. М.: Энергоатомиздат, 1990.
14. *Nikolaev V. A., Buzynnyy M. G., Vorobiev I. B. et al.* Application of the track method for radon measurement in Ukraine // Nucl. Tracs Radiat. Meas. 1993. V. 21, № 3. P. 433-436.
15. *Дюррани С., Балл Р.* Твердотельные ядерные детекторы. М.: Энергоатомиздат, 1990.
16. *Ярмошенко И. В., Жуковский М. В., Екидин А. А.* Моделирование поступления радона в жилища //АНРИ. 4. 1999. С. 17-26.
17. *Защита от радона-222* в жилых зданиях и на рабочих местах. Публикация 65 МКРЗ. М.: Энергоатомиздат, 1995. 78 с.
18. *Терентьев М.В.* Совместное определение концентраций ^{222}Rn и ^{220}Rn в воздухе // Атомная энергия. 1986. 61. № 3. С. 192-195.
19. *Санитарные правила «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99)»* СП 2.6.1. 758-99.
20. *Источники и эффекты ионизирующего излучения: Отчет НКДАР ООН 2000 г.* Генеральной Ассамблее с научными приложениями. Том 1: ИСТОЧНИКИ / Пер. с англ., под. ред. акад. РАМН Ильина Л. А. и проф. Ярмоненко С. П. М.: РАДЭКОН, 2002. 308 с.
21. *Радиоактивные беды Урала / В. И. Уткин, М. Я. Чеботина, А. В. Евстигнеев и др.;* Рос. акад. наук. Урал. отд. ин-т геофизики и др. Екатеринбург: УрО РАН, 2000. 94 с.
22. *Оценка индивидуальных эффективных доз облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения: Методические указания МУ 2.6.1.1088-02.* 2002.

ОЦЕНКА КОНВЕКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЖИДКИХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

МОРИЛОВ В. В.,

Уральская государственная горно-геологическая академия

В работе [1] были представлены результаты исследований теплофизических свойств металлических материалов в твердом и жидком состояниях. В частности, приведены данные о температуропроводности и теплопроводности жидких редкоземельных металлов, а также железа и стали Ст3. Измерения этих характеристик проводились в диапазоне от температур плавления до 2100 К с использованием оригинального метода [2].

Метод заключается в том, что коэффициент температуропроводности жидкого материала рассчитывается по измеренным значениям фазы температурной волны на его свободной поверхности. Волна возбуждается в материале путем периодического нагрева этой поверхности внешним источником (рис. 1). Как видно из рисунка, при вертикальном расположении цилиндрического образца и его нагреве сверху можно ожидать отсутствия значительных конвективных процессов в исследуемом материале. Поэтому теоретическое обоснование метода не включало оценку возможного влияния ни поверхностных, ни объемных течений в материале на параметры температурной волны в нем.

На рис. 2 представлены результаты измерений коэффициента температуропроводности твердого и жидкого гадолиния при различных частотах температурной волны [1]. Исследования жидкого тербия выявили, что значения его коэффициента температуропроводности также зависят от частоты волны. Железо имеет более высокую температуру (1811 К), и температурный диапазон в этом случае оказался недостаточно широким, чтобы установить аналогичную частотную зависимость.

Чтобы истолковать эти данные, пришлось предположить, что перенос теплоты в жидких металлах в условиях таких измерений осуществляется как теплопроводностью, так и конвекцией. Измеряемое значение коэффициента температуропроводности α , следовательно, представляет собой сумму двух слагаемых, обусловленных теплопроводностью (α_T) и конвекцией (α_K):

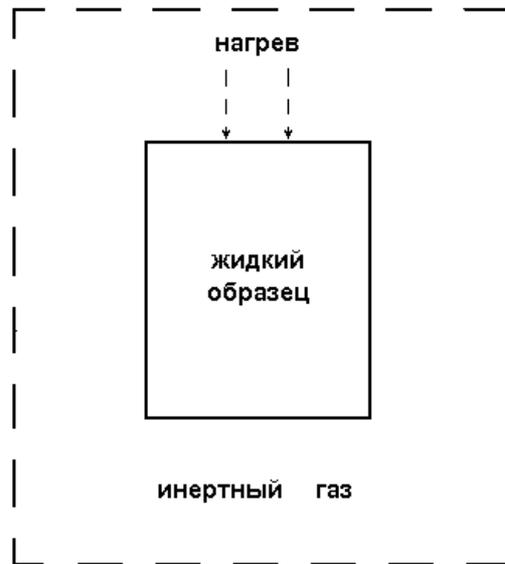


Рис. 1

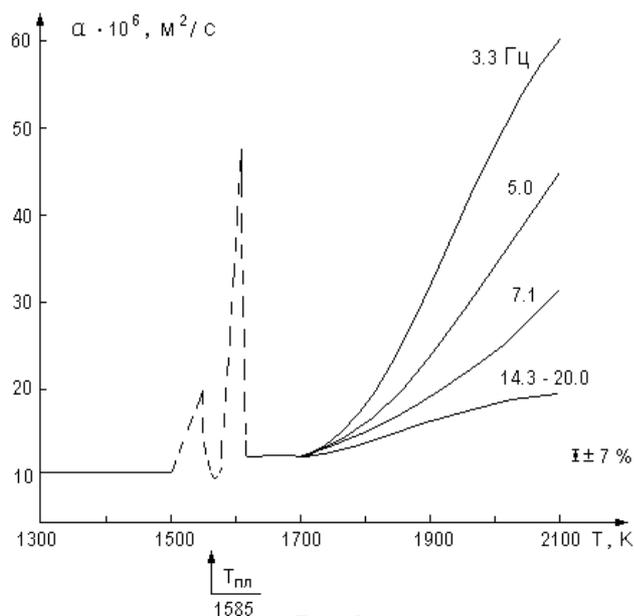


Рис.2

Динамический коэффициент вязкости жидкого вещества можно рассчитать, используя формулу

$$\frac{a_{\text{э}}}{a_{\text{т}}} = 0,18(\text{GrPr})^{1/4},$$

где в качестве $a_{\text{э}}$ следует взять значения коэффициента температуропроводности, полученные линейной экстраполяцией его частотных зависимостей при различных температурах. Например, при 2100 К $a_{\text{э}}/a_{\text{т}} = 4,3$.

Расчеты показывают, что при нагревании жидкого гадолиния от 1800 до 2100 К его динамический коэффициент вязкости уменьшается примерно в 250-300 раз. Энергия активации структурных элементов металла составляет 500 ± 20 кДж/моль.

Такое измерение вязкости металлов кажется слишком большим, и поэтому возникает сомнение в том, что слагаемое $a_{\text{к}}$ обусловлено исключительно свободной конвекцией. Действительно, если внешний источник воздействует только на часть свободной поверхности жидкого вещества, температура в разных ее точках будет неодинакова. Вследствие зависимости коэффициента поверхностного натяжения от температуры [4] неизбежно возникновение механических касательных напряжений и вызванных ими поверхностных течений. Эта так называемая термокапиллярная конвекция может быть основным фактором, влияющим на результаты измерений коэффициента температуропроводности, так как он рассчитывается по значениям фазы температурной волны на поверхности материала.

В работе [5] рассмотрена термокапиллярная конвекция в жидкости, свободная поверхность которой подвергается воздействию точечного источника теплоты постоянной мощности. Полученные результаты позволяют проанализировать распределение температур и скоростей течений в поверхностном слое жидкости и сделать оценки их значений в зависимости от мощности источника и параметров жидкости. Например, при мощности источника 10-15 Вт на расстоянии 3 мм от точки его воздействия скорость течения жидкого гадолиния составляет примерно 20 см/с. Таким образом, термокапиллярная конвекция представляет собой значительно более быстрое течение, чем свободная.

Однако результаты измерений теплофизических характеристик, приведенные в работе [1], получены в несколько других условиях. Источник теплоты переменной мощности воздействовал на центральную область свободной поверхности жидкого образца в тигле, предварительно нагретого до температур, в сотни раз больших, чем амплитуда возбуждаемой температурной волны. Следовательно, параметры конвективного поверхностного течения периодически изменяются со временем, причем амплитуды этих изменений должны быть существенно меньше значений соответствующих параметров стационарной конвекции.

Физические процессы при этих условиях могут быть описаны теоретически путем постановки и решения задачи математической физики. Система уравнений неразрывности, Навье-Стокса и конвективно-кондуктивного переноса теплоты должна быть дополнена граничными условиями, представляющими собой уравнения теплообмена между поверхностью жидкого материала в тигле и окружающей газообразной средой.

Следует отметить, что уравнения теплообмена должны включать как поток теплоты, переносимой излучением, так и поток теплоты, переносимой теплопроводностью и конвекцией в газе, так как оценки показывают, что при 1000 К эти потоки сравнимы, а при 2000 К преобладает перенос теплоты излучением. Урав-

$$a = a_{\text{т}} + a_{\text{к}}.$$

Конвективное течение жидкого металла является механическим периодическим движением и может заметно повлиять на измеряемые значения фазы температурной волны только при небольших частотах. Поэтому с ростом частоты величина ak уменьшается, а при частотах выше 14,3 Гц исчезает совсем ($a = a_{\text{т}}$).

Эти предположения подкреплены теоретическими оценками параметров теплопереноса в ограниченном объеме жидкого вещества [3]. Если средние температуры на границах исследуемого металлического образца с линейными размерами 1-2 см отличаются друг от друга, например, на 100 К, то число Грасгофа (Gr) имеет порядок 10^5 , а его произведение на число Прандтля (Pr) — 10^4 . Следовательно, в данном случае имеет место ламинарное свободноконвективное течение жидкого металла во всем объеме образца. Скорость течения в поверхностном слое на расстоянии 3 мм от центра образца составляет примерно 2-3 мм/с.

нение конвективно-кондуктивного переноса теплоты содержит диссипативную функцию, учитывающую действие внутреннего трения при движении слоев жидкости. Однако в данном случае вязкой диссипацией можно, по-видимому, пренебречь, так как, согласно критерию из работы [3], она будет заметной только при скорости конвективного течения 100 м/с и выше. Наконец, в силу малости амплитуд колебаний скорости и температуры жидкости по сравнению с их значениями при стационарной конвекции можно формально разделить общую задачу на две, тем самым считая конвективное течение состоящим из стационарного движения и зависящего от времени движения жидкости.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Мориллов В. В.* Исследование теплофизических свойств гадолиния, тербия и иттрия в твердом и жидком агрегатных состояниях: Дис. ... канд. физ.-мат. наук. Екатеринбург, 1996. 117 с.
2. *А. с. 1603271 СССР, ГО I N 25/18.* Способ измерения коэффициента температуропроводности материалов / А. Д. Ивлиев, А. А. Куриченко, А. Н. Поздеев, В. В. Мориллов (СССР). 6 с.: ил.
3. *Лыков А. В.* Тепломассообмен: Справочник. М.: Энергия, 1978. 480 с.
4. *Ниженко В. И., Флока Л. И.* Поверхностное натяжение жидких металлов и сплавов: Справочник. М.: Metallurgia, 1981. 208 с.
5. *Братухин Ю. К., Маурин Л. Н.* Термокапиллярная конвекция в жидкости, заполняющей полупространство // Прикл. матем. и механ. 1967. Вып. 3. С. 577-580.

