© И.Б.Сафаров, Н.М.Ширинов, 2008

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ДАВЛЕНИЯ НА ИЗОТРОПНЫЕ УПРУГИЕ МОДУЛИ МАГМАТИЧЕСКИХ ПОРОД

И.Б.Сафаров, Н.М.Ширинов

Институт геологии НАН Азербайджана
AZ1143, Баку, просп. Г.Джавида, 29А

Ультразвуковым методом в модифицированной твердофазной установке высокого квазигидростатического давления изучены скорости продольных, поперечных волн, а также плотность магматических пород. На основе экспериментальных данных о скоростях упругих волн и плотности горных пород при высоких термобарических условиях рассчитаны упругие параметры и коэффициенты Пуассона. Анализ полученных расчетных данных показывает, что изменение величины упругих параметров для разных глубинных пород объясняется возможными вариациями вещественного состава литосферы Земли. Установлены связь модулей упругости и коэффициента Пуассона с минеральным составом и структурными особенностями рассматриваемых сред и их повышение с ростом основности изверженных пород.

Введение

В настоящее время для решения многих задач геофизики большое значения приобретают теоретические и экспериментальные исследования упругих модулей горных пород и минералов при высоких давлениях (Жарков, Калинин, 1968; Калинин, 2000; Калинин, Баюк и др., 1993; Кулиев, Ширинов, 2005; 2006; Гасанов, Сафаров, 1988).

В последние годы проведено небольшое число измерений упругих модулей второго порядка горных пород и минералов в различных интервалах высоких давлений и температур (Кулиев, Ширинов, 2005). Обычно в большинстве работ при изучении свойств горных пород и минералов в условиях высоких давлений ограничиваются измерениями скоростей продольных волн, значительно реже определяются параллельно и скорости поперечных волн. Зная два упругих параметра изотропного твердого тела (например, скорости продольных V_P и поперечных V_S волн) и еще дополнительно плотность ρ, можно по общеизвестным формулам теории упругости рассчитать все динамические модули упругости и коэффициенты Пуассона (Воларович и др., 1974; Дортман, 1992; Сафаров, 2003).

Предлагаемая работа посвящена исследованию упругих модулей второго порядка и коэффициента Пуассона магматических пород при высоких термодинамических условиях. Эксперименты проводились в твердофазной установке типа цилиндр-поршень (Воларович и др.1974) по методике, разработанной ранее (Киреенкова, Сафаров, 1979). Эта методика предусматривает одновременное определение скоростей продольных и поперечных волн, а также плотности в процессе одного опыта на одном образце горных пород при высоких термобарических условиях.

Результаты и их обсуждение

При более эффективной интерпретации скоростных разрезов, получаемых из сейсмических наблюдений, а также установлении состава глубинных зон земной коры значительный интерес представляет исследование причин, определяющих изменение коэффициента Пуассона и динамических модулей упругости.

Для исследования скоростей продольных и поперечных волн, а также плотности при высоких термобарических условиях были отобраны образцы магматических пород различных регионов, представляющих разные структурно-тектонические области (Сафаров, 2003). Данные о скоростях упругих волн и плотности по группам горных пород приведены в табл. 1.

Андезитовые породы. Среди изученных магматических пород наименьшими значе-

ниями скоростей упругих волн и плотности обладают андезитовые породы. Для исследованных групп андезитов (обр. 16,17,19) главными породообразующими минералами являются плагиоклаз, пироксены ромбические и моноклинные. Кроме этих минералов, местами встречаются кварц, магнетит, апатит и сфен. Обычно присутствует также вулканическое стекло. При атмосферном давлении образцы андезитов обладают плотностью 2,0-2,40 г/см^3, скоростями упругих волн 3,30-4,30 км/с для волн V_P и 2,05-2,65 км/с для волн V_S. При давлении 1,5 ГПа скорости этих пород варьируют для продольных волн от 4,20 до 5,40 км/с, а для поперечных – от 2,25 до 3,0 км/с (табл. 1).

Таблица 1

Скорости продольных V_P, поперечных V_S волн (км/с) и плотность ρ (г/см^3) при разных давлениях P (ГПа) для магматических пород

№№	Порода, номер образца, место отбора	Параметр	V_P, V_S, ρ при P (ГПа)				
			0,001	0,1	0,5	1,0	1,5
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Анальцимовый базальт (Памир)-8	V_P V_S ρ	5,35 3,24 2,58	6,04 3,50 2,60	6,24 3,58 2,65	6,38 3,59 2,67	6,44 3,63 2,68
2	Базальт	V_P V_S ρ	5,50 3,07 2,68	5,76 3,13 2,71	5,78 3,14 2,77	5,94 3,20 2,79	6,16 3,27 2,80
3	Андезит (о. Кипр)-19	V_P V_S ρ	3,93 2,53 2,42	4,55 2,73 2,46	4,74 2,79 2,56	5,03 2,86 2,63	5,36 2,96 2,66
4	«----«----«-16	V_P V_S ρ	3,28 2,05 1,95	3,30 2,10 2,08	3,65 2,20 2,20	3,87 2,20 2,22	4,14 2,22 2,24
5	«----«----«-17	V_P V_S ρ	4,32 2,63 2,34	4,44 2,74 2,35	4,58 2,76 2,44	4,70 2,80 2,48	4,82 2,84 2,52
6	Базальт-23	V_P V_S ρ	4,99 3,08 2,66	5,42 3,12 2,68	5,56 3,18 2,73	5,82 3,27 2,78	6,14 3,40 2,80
7	Базальт-36	V_P V_S ρ	4,99 3,02 2,55	5,21 3,07 2,65	5,40 3,13 2,71	5,71 3,21 2,74	6,07 3,33 2,77
1	2	3	4	5	6	7	8
8	Габбро-норит 39	V_P V_S ρ	6,70 3,84 2,98	7,28 3,96 3,05	7,43 4,01 3,09	7,57 4,07 3,12	7,76 4,15 3,14
9	«----«----«-42	V_P V_S ρ	6,69 3,88 3,02	7,38 3,94 3,10	7,47 4,04 3,14	7,60 4,11 3,17	7,73 4,20 3,19
10	«----«----«-43	V_P V_S ρ	6,68 3,92 2,90	7,31 4,00 2,95	7,42 3,98 3,00	7,55 4,05 3,03	7,80 4,12 3,08
11	Лейкократовое габбро-40	V_P V_S ρ	6,44 3,51 2,95	6,80 3,56 2,96	6,94 3,59 3,00	7,10 3,63 3,02	7,31 3,75 3,04

Базальтоиды. Изученная группа базальтов (обр. 8,9,23,36) в основном состоит из плагиоклаза, оливина, моноклинного пироксена, ортоклаза, рудных минералов и др. Среди представленных магматических пород они занимают промежуточное положение по величинам скоростей упругих волн при атмосферном и высоком давлении. При атмосферном давлении плотность образцов составляет 2,55-2,68 г/см^3. С повышением давления плотность данного типа пород увеличивается сравнительно мало. Значения скоростей упругих волн при атмосферном давлении меняются от 5,0 до 5,50 км/с для волн V_P и от 3,20 до 3,25 км/с – для волн V_S. При давлении 1,5 ГПа значения скоростей продольных и поперечных волн достигают величин соответственно от 6,10 до 6,44 км/с и от 3,30 до 3,63 км/с (табл. 1).

Габброидные породы. Как показали исследования, при высоких термобарических условиях среди магматических пород довольно высокими значениями скоростей упругих волн характеризуются габброидные породы (обр. 39,40,42,43). Эти породы состоят из плагиоклаза, клинопироксена, ортопироксена, оливина, магнетита и др. При нормальных условиях испытанные образцы габбро имеют близкие значения плотности 2,90-3,0 г/см^3. Скорости упругих волн габброидных пород при атмосферном давлении колеблются от 6,44 до 6,70 км/с для продольных и 3,50 до 3,92 км/с – для поперечных волн, а при давлении 1,5 ГПа они соответственно равны 7,30-7,80 км/с и 3,75-4,20 км/с (табл. 1).

При воздействии на образец упругих ультразвуковых импульсов малой мощности (т.е. акустических сигналов малой амплитуды) величины возникающих при этом напряжений довольно малы, причем эти воздействия очень кратковременны и практически не вызывают необратимых, неупругих процессов.

Динамические модули упругости и коэффициенты Пуассона рассчитываются по следующим формулам: Классический подход. Модуль сдвига:

$$\mu = \rho V_S^2 \ . \qquad (1)$$

Модуль объемного сжатия :

$$\lambda = \rho V_P^2 - V_S^2 \ . \qquad (2)$$

Коэффициент Пуассона :

$$\nu = \frac{V_P^2 - 2V_S^2}{2(V_P^2 - V_S^2} \ , \qquad (3)$$

где ρ - плотность среды; V_P и V_S – соответственно скорости продольных и поперечных упругих волн.

Уравнения (1) и (3) использовались для вычисления модуля упругости некоторых горных пород на основании имеющихся экспериментальных данных, полученных при высоких давлениях. В наших расчетах были использованы средние данные скоростей упругих волн ряда опытов, проведенных с магматическими изотропными горными породами в интервале давлений от атмосферного до 1,5 ГПа.

В таблице 2 для изученных групп горных пород из различных регионов при высоких термобарических условиях приведены значения модуля объемного сжатия λ, модуля сдвига μ, коэффициента Пуассона ν, рассчитанных, исходя из экспериментальных данных по обеим скоростям и плотности. Для зависимости упругих параметров изученных групп горных пород от давления характерным является монотонной рост их с давлением для фазы низкого давления и затем дальнейшее их слабое увеличение – для фазы высокого давления.

Измерение скоростей упругих волн на образцах горных пород в диапазоне давлений от атмосферного до 1,5 ГПа показало, что величины V_P и V_S зависят как от термодинамических условий, так и от вещественного состава. Поскольку коэффициент Пуассона фактически определяется отношением скоростей продольных и поперечных волн, а величина этого отношения может как увеличиваться, так и уменьшаться при повышении давления, характер изменения его зависимости от давления подобен зависимости V_P и V_S от давления. При нормальных условиях в изученных горных породах минимальная величина ν = 0,15-0,18 отмечена для андезитов (табл. 2). Зависимость ν = f (p) показывает, что с увеличением давления в основном идет возрастание коэффициента Пуассона в интервале давлений 0,1-1,5 ГПа, при комнатной температуре в изученных горных породах (андези-

тах, базальтах, гранитах, габбро) он, как правило, увеличивается на 3-4% (рис. 1в). Увеличение по направлению к основанию коры отношения V_P/V_S от 1,70 (σ = 0,240) до 1,75-1,85 (σ = 0,280), установленное по результатам сейсмических исследований, подтверждает достоверность полученных величин.

Таблица 2

Численные значения модулей упругости и коэффициента Пуассона магматических пород при высоких давлениях
Классический подход

№№	Порода, номер образца, место отбора	Параметр (ГПа)	Значения упругих параметров при Р (ГПа)				
			0,001	0,1	0,5	1,0	1,5
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Анальцимовый базальт (Памир)-8	μ λ ν	27,08 19,68 0,21	31,85 31,15 0,25	33,96 35,26 0,25	34,41 39,86 0,27	35,31 40,52 0,27
2	Базальт	μ λ ν	25,26 30,55 0,27	26,55 36,81 0,29	27,31 37,92 0,29	28,57 41,30 0,30	29,94 46,37 0,30
3	Андезит (о. Кипр)-19	μ λ ν	15,49 6,40 0,15	18,33 14,26 0,22	19,93 17,66 0,23	21,51 23,52 0,26	23,31 29,81 0,28
4	«----«----«-16	μ λ ν	8,19 4,59 0,18	9,17 4,31 0,18	10,65 8,01 0,21	10,74 11,76 0,26	11,04 16,31 0,30
5	«----«----«-17	μ λ ν	16,19 11,30 0,21	17,64 11,04 0,19	18,59 14,01 0,21	19,44 15,90 0,22	20,33 17,90 0,23
1	2	3	4	5	6	7	8
6	Базальт-23	μ λ ν	25,23 15,77 0,19	26,09 26,55 0,25	27,61 29,18 0,26	29,73 34,71 0,27	32,37 40,82 0,28
7	Базальт-36	μ λ ν	23,26 16,98 0,21	24,98 21,98 0,23	26,55 25,92 0,25	28,23 32,87 0,27	30,72 40,63 0,28
8	Габбро-норит 39	μ λ ν	43,94 45,89 0,26	47,83 65,99 0,29	49,69 71,21 0,29	51,68 75,43 0,30	54,08 80,93 0,30
9	«----«----«-42	μ λ ν	45,46 44,23 0,25	48,12 72,59 0,28	51,25 72,72 0,29	53,55 76,00 0,29	56,27 78,07 0,29
10	«----«----«-43	μ λ ν	44,56 40,28 0,24	47,20 63,24 0,29	47,52 70,13 0,30	49,70 73,32 0,30	52,28 82,82 0,31
11	Лейкократовое габбро-40	μ λ ν	36,34 49,66 0,29	37,51 61,84 0,31	38,66 67,16 0,32	39,79 72,65 0,32	42,75 76,95 0,32

Модуль объемного сжатия λ для изученных групп горных пород с ростом давления сильно возрастает. Максимальное изменение модуля объемного сжатия при нормальных условиях получено для габброидных пород, и его величина варьирует от 40,28 до 49,66 ГПа, а для базальтоидных пород она колеблется от 15,77 до 30,55 ГПа. Минимальными величинами этого параметра обладают андезиты, и при атмосферном давлении эти значения меняются от 4,59 до 11,30 ГПа. Модуль объемного сжатия (λ) с увеличением давления (0,1-1,5 ГПа) для изученных групп горных пород возрастает на 20-25 % (рис. 1 б).

Максимальные значения модуля сдвига μ при нормальных условиях получены для изученных габброидных пород и варьируют от 36,34 до 45,46 ГПа, а минимальными величинами этого параметра характеризуются андезиты, они меняются от 8,19 до 16,19 ГПа. С увеличением давления в основном происходит возрастание модуля сдвига и в интервале давлений от 0,001 до 1,5 ГПа для изученных горных пород оно составляет 10-15% (рис. 1 а).

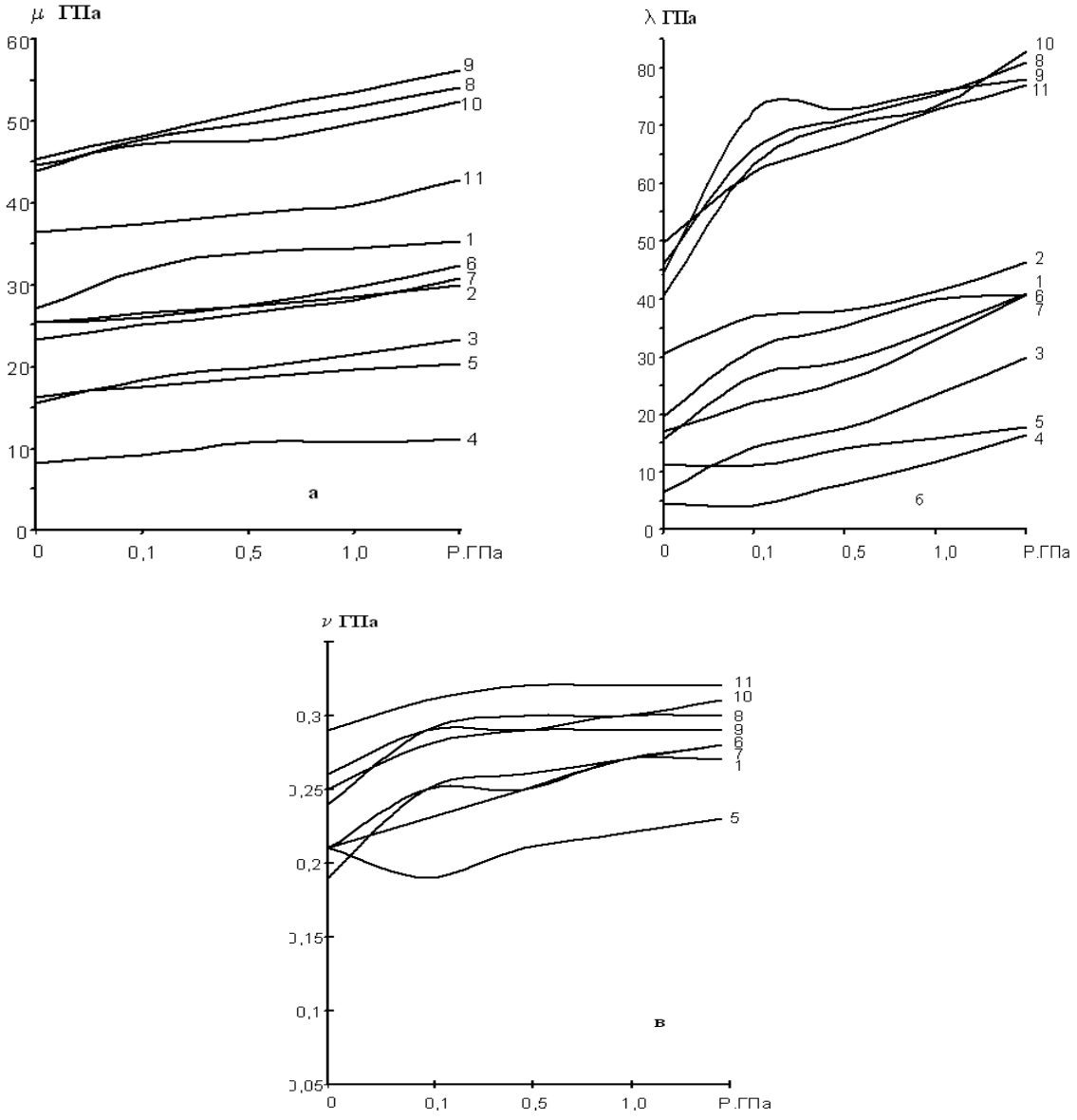


Рис. 1. Зависимость значений модуля сдвига (а), модуля сжатия (б) и коэффициента Пуассона (в) от давления для образцов габбро (8,9, 10,11), базальтов (1,2,6,7), андезитов (3,4,5). Классический подход

Представляло интерес изучать влияние высокого давления на модули упругости второго порядка и коэффициенты Пуассона в разнотипных магматических породах из отдельных геологических регионов. Информативность упругих параметров горных пород обусловлена тем, что эти параметры количественно и качественно отражают характер взаимодействия микро- и макрокомпонентов и в целом состояния вещества в процессе деформации.

Поэтому особенности описываемых данных, которые приведены в табл. 3 и 4 для горных пород разного состава, заключаются в том, что эти данные получены в результате пересчета значений, установленных предыдущими исследованиями при высоких давлениях. Динамические модули упругости второго порядка и коэффициенты Пуассона рассчитываются по следующим формулам: Неклассический подход.

1. В случае «натуральных» или «естественных» скоростей.

а. Второй вариант теории малых начальных деформации:

Модуль сдвига:

$$\mu = \rho V_S^2 + P \ . \qquad (4)$$

Модуль объемного сжатия:

$$\lambda = \rho V_P^2 - \rho V_S^2 - P \ . \qquad (5)$$

Коэффициент Пуассона:

$$\nu_0 = \frac{\lambda}{\lambda + P} \cdot \nu \ . \qquad (6)$$

б. Теории больших начальных и первый вариант теории малых начальных деформации:

Модуль сдвига:

$$\mu = \rho V_S^2 + P\left(1 + \frac{2\mu}{3K_0}\right) . \qquad (7)$$

Модуль объемного сжатия:

$$\lambda = \rho V_P^2 - \rho V_S^2 - P\left(1 - \frac{2\lambda}{3K_0}\right) . \qquad (8)$$

Коэффициент Пуассона:

$$\nu_0 = \frac{\lambda}{\lambda + P} \cdot \nu \ . \qquad (9)$$

Пересчет осуществляется с целью учета влияния на величины упругих характеристик давления и температуры, предполагаемых в более глубоких слоях недр. Анализ приведенных в таблицах результатов показывает, что вследствие увеличения давления до 1,5 ГПа происходит рост величины параметров μ, λ и ν.

На рис 2 и 3 можно проследить, как влияют термобарические условия на модули упругости и коэффициент Пуассона. Высокое давление приводит к значительному росту упругих параметров в исследованных горных породах. Аналогичное влияние высокого давления на упругие параметры горных пород показано в работе (Кулиев, Ширинов, 2005; 2006). Рост μ, λ и ν при повышении давления до 1,5 ГПа для исследованных пород наибольший в андезитах и составляет около 15%. Минимальное изменение упругих параметров при тех же термодинамических условиях наблюдается для габброидных пород и составляет приблизительно 10%, промежуточное значение (около 14%) получено для базальтоидных пород.

Таким образом, результаты исследования показывают, что количественные значения модулей упругости магматических пород при различных напряжениях, рассчитанные по вышеперечисленным формулам, существенно различаются. Причем характер этих отличий как в рамках классического подхода, так и неклассического (с учетом геометрической нелинейности) одинаков. По-видимому, данное обстоятельство свидетельствует о том, что для обработки используемых экспериментальных результатов учет только геометрической нелинейности недостаточен, необходимо учитывать также физическую нелинейность.

Таблица 3

Численные значения комбинированных модулей упругости второго порядка и коэффициента Пуассона для магматических пород при высоких давлениях. Неклассический подход

1. В случае «натуральных» или «естественных» скоростей

а. Второй вариант теории малых начальных деформаций

№№	Порода, номер образца, место отбора	Параметр	Значения упругих параметров при P (ГПа)				
			0,001	0,1	0,5	1,0	1,5
1	Анальцимовый базальт (Памир)-8	μ λ ν	27,08 19,68 0,21	31,95 31,05 0,25	34,46 34,76 0,25	35,41 38,86 0,26	36,81 39,02 0,26
2	Базальт	μ λ ν	25,26 30,55 0,27	26,65 36,71 0,29	27,81 37,42 0,29	29,57 40,30 0,29	31,44 44,87 0,29
3	Андезит (о. Кипр)-19	μ λ ν	15,49 6,40 0,15	18,43 14,16 0,22	20,43 17,16 0,23	22,51 22,52 0,25	24,81 28,31 0,27
4	«----«----«-16	μ λ ν	8,20 4,59 0,18	9,27 4,21 0,16	11,15 7,51 0,20	11,74 10,76 0,24	12,54 14,81 0,27
5	«----«----«-17	μ λ ν	16,19 11,30 0,21	17,74 10,94 0,19	19,09 13,51 0,21	20,44 14,90 0,21	21,83 16,40 0,22
6	Базальт-23	μ λ ν	25,24 15,77 0,19	26,19 26,45 0,25	28,11 28,68 0,25	30,73 33,71 0,26	33,87 39,32 0,27
7	Базальт-36	μ λ ν	23,26 16,98 0,21	25,08 21,88 0,23	27,05 25,42 0,24	29,23 31,87 0,26	32,22 39,13 0,27
8	Габбро-норит 39	μ λ ν	43,94 45,89 0,26	47,93 65,89 0,29	50,19 70,71 0,29	52,68 74,43 0,29	55,58 79,43 0,29
9	«----«----«-42	μ λ ν	45,47 44,23 0,25	48,22 72,49 0,30	51,75 72,22 0,29	54,55 75,00 0,29	57,77 76,57 0,29
10	«----«----«-43	μ λ ν	44,56 40,28 0,24	47,30 63,14 0,29	48,02 69,63 0,30	50,70 72,32 0,29	53,78 81,32 0,30
11	Лейкократовое габбро-40	μ λ ν	36,35 49,66 0,29	37,61 61,74 0,31	39,16 66,66 0,31	40,79 71,65 0,32	44,25 75,45 0,32

Таблица 4

Численные значения комбинированных модулей упругости второго порядка и коэффициента Пуассона для магматических пород при высоких давлениях. Неклассический подход
б. Теория больших начальных и первый вариант теории малых начальных деформации

№№	Порода, номер образца, место отбора	Параметр	Значения упругих параметров при P (ГПа)				
			0,001	0,1	0,5	1,0	1,5
1	Анальцимовый базальт (Памир)-8	μ λ ν	27,08 19,68 0,21	32,01 31,11 0,25	34,76 35,07 0,25	36,02 39,56 0,26	37,75 40,10 0,26
2	Базальт	μ λ ν	25,26 30,55 0,27	26,69 36,76 0,29	28,00 37,69 0,29	29,97 40,88 0,29	32,07 45,85 0,29
3	Андезит (о. Кипр)-19	μ λ ν	15,49 6,40 0,15	18,51 14,22 0,22	20,82 17,51 0,23	23,37 23,45 0,25	26,20 30,09 0,27
4	«----«----«-16	μ λ ν	8,20 4,59 0,18	9,33 4,23 0,16	11,50 7,78 0,20	12,46 11,54 0,24	13,64 16,44 0,27
5	«----«----«-17	μ λ ν	16,19 11,30 0,21	17,80 10,98 0,19	19,40 13,74 0,21	21,09 15,42 0,21	22,84 17,29 0,22
6	Базальт-23	μ λ ν	25,24 15,77 0,19	26,24 26,51 0,25	28,39 28,98 0,25	31,35 34,44 0,26	34,88 40,60 0,27
7	Базальт-36	μ λ ν	23,26 16,98 0,21	25,13 21,92 0,23	27,32 25,69 0,24	29,81 32,54 0,26	33,16 40,38 0,27
8	Габбро-норит 39	μ λ ν	43,94 45,89 0,26	47,97 65,95 0,29	50,41 71,02 0,29	53,14 75,10 0,29	56,30 80,50 0,29
9	«----«----«-42	μ λ ν	45,47 44,23 0,25	48,27 72,56 0,30	51,98 72,54 0,29	55,03 75,68 0,29	58,53 77,62 0,29
10	«----«----«-43	μ λ ν	44,56 40,28 0,24	47,37 63,20 0,29	48,25 69,96 0,30	51,17 73,02 0,29	54,53 82,51 0,30
11	Лейкократовое габбро-40	μ λ ν	36,35 49,66 0,29	37,65 61,80 0,31	39,34 66,97 0,31	41,15 72,31 0,32	44,83 76,49 0,32

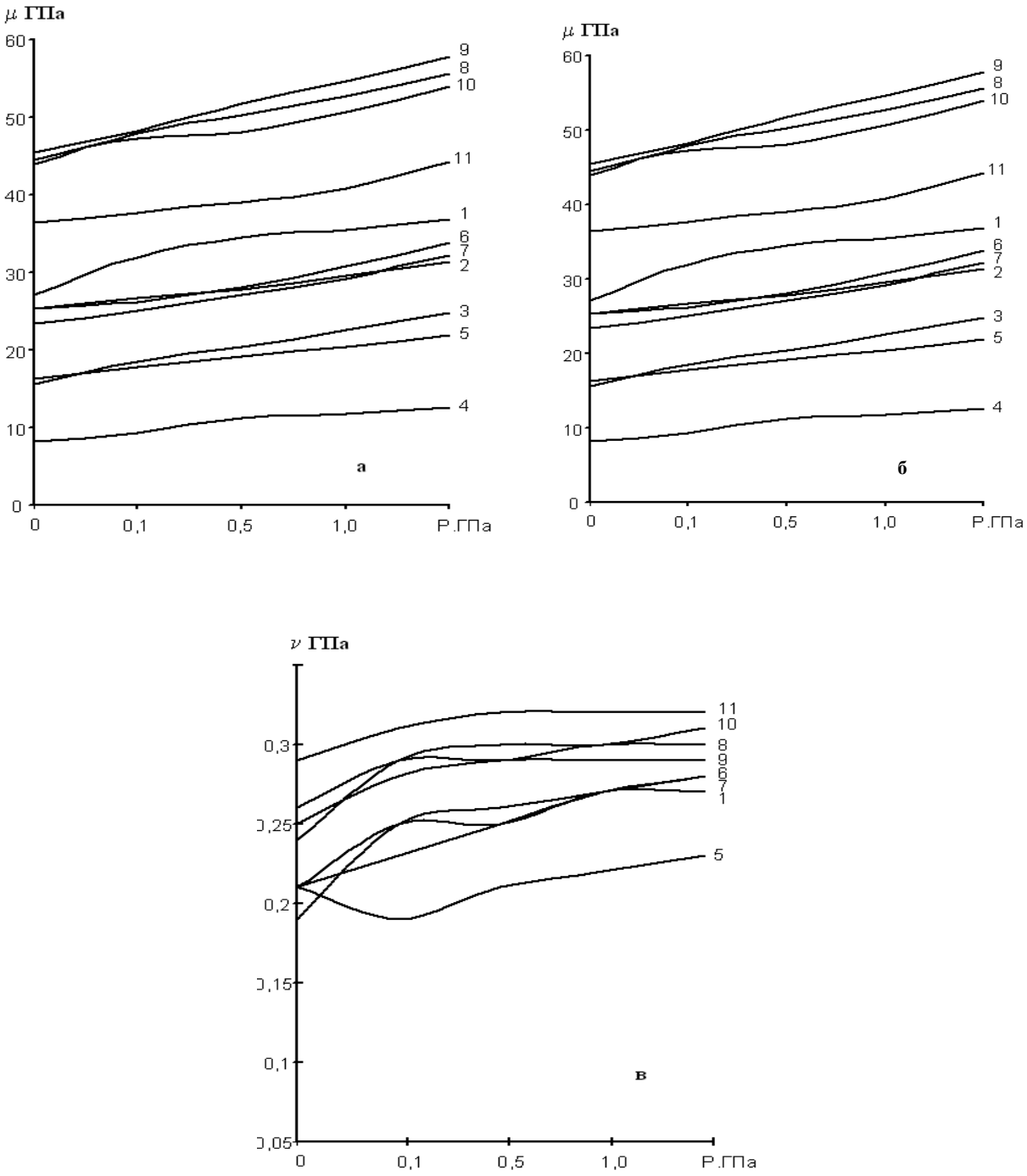


Рис. 2. Зависимость значений модуля сдвига (а); модуля сжатия (б) и коэффициента Пуассона (в) от давления для образцов габбро (8,9,10,11), базальтов (1,2,6,7), андезитов (3,4,5).

Неклассический подход.

1. В случае «натуральных» или «естественных» скоростей

а. Второй вариант теории малых начальных деформаций

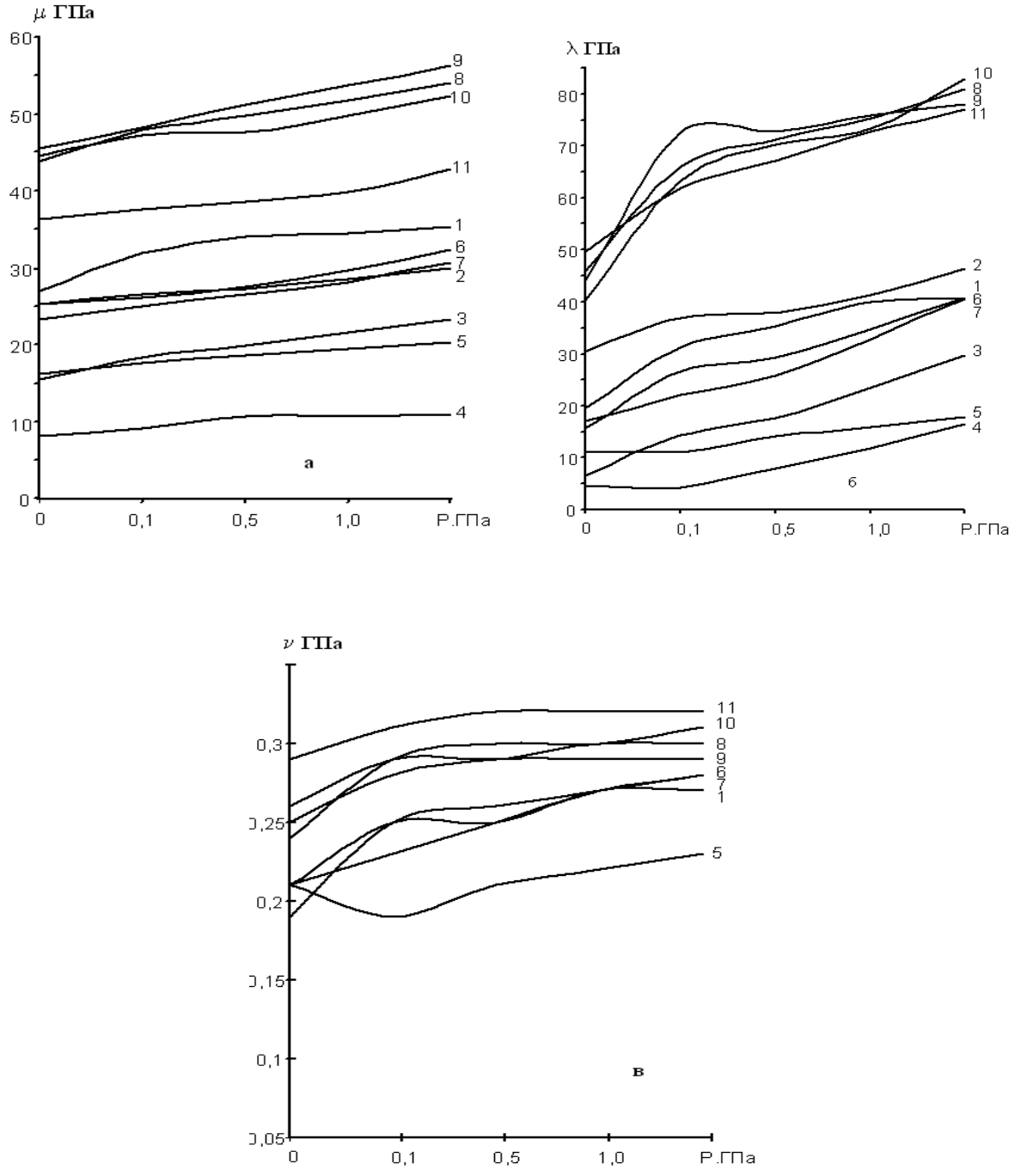


Рис. 3. Зависимость значений модуля сдвига (а); модуля сжатия (б) и коэффициента Пуассона (в) от давления для образцов габбро (8,9,10,11), базальтов (1,2,6,7), андезитов (3,4,5).

Неклассический подход.

1. В случае «натуральных» или «естественных» скоростей

б. Теория больших начальных и первый вариант теории малых начальных деформаций

Выводы

1. Полученные изменения величины коэффициента Пуассона для изотропных горных пород объясняются возможными вариациями вещественного состава литосферы Земли, а упругие модули – состоянием вещества.

2. Установлена связь модулей упругости и коэффициента Пуассона с минеральным составом и структурными особенностями (пористость, трещиноватость и др.) рассматриваемых горных пород.

3. Наибольшие величины значений упругих параметров характерны для основных пород, которые по сравнению со средними породами характеризуются более плотной упаковкой атомов в решетках породообразующих минералов.

ЛИТЕРАТУРА

ВОЛАРОВИЧ, М.П., БАЮК, Е.И., ЛЕВЫКИН, А.И., ТОМАШЕВСКАЯ, И.С. 1974. Физико-механические свойства горных пород и минералов при высоких давлениях и температурах. Наука. Москва. 223.

ГАСАНОВ, А.Б., САФАРОВ, И.Б. 1988. Термобарический эффект в значениях динамических модулей упругости и коэффициент Пуассона горных пород. *Изв. АН Аз.ССР. Науки о Земле*, 4, 116-122.

ДОРТМАН, Н.Б. (под ред.). 1992. Петрофизика: Справочник. Книга третья: Земная кора и мантия. Недра. Москва. 286.

ЖАРКОВ, В.Н., КАЛИНИН, В.А. 1968. Уравнения состояния твердых тел при высоких давлениях и температурах. Наука. Москва. 311.

КАЛИНИН, В.А. 2000. Свойства геоматериалов и физика земли (Избранные труды). ОИФЗ РАН, ISBN. Москва. 334.

КАЛИНИН, В.А., БАЮК, И.О. и др. 1993. Определение при высоких давлениях изотропных упругих модулей минералов по их осколкам. *Изв. РАН, Физика Земли*, 4, 30-37.

КИРЕЕНКОВА, С.М., САФАРОВ, И.Б. 1979. Одновременное определение скоростей продольных и поперечных волн в горных породах при высоких давлениях. *Изв. АН СССР, Физика Земли*, 12, 93-98.

КУЛИЕВ, Г.Г., ШИРИНОВ, Н.М. 2005. К определению второго порядка модулей упругости напряженных нелинейных изотропных сред. *Изв. НАНА, Науки о Земле*, 3, 10-16.

КУЛИЕВ, Г.Г., ШИРИНОВ, Н.М. 2006. К определению третьего порядка модулей упругости напряженных нелинейных изотропных сред. *Изв. НАНА. Науки о Земле*, 3, 31-35.

САФАРОВ, И.Б. 2003. Анизотропия упругих свойств горных пород при высоких термодинамических условиях и петрофизические модели литосферы. Автореф. док. дисс. ИГ НАНА. Баку. 47.

Рецензент: д.г.-м.н. Ш.А.Балакишибейли

© F.Kadirov, S.Mammadov, R.Reilinger, S.McClusky, 2008

SOME NEW DATA ON MODERN TECTONIC DEFORMATION AND ACTIVE FAULTING IN AZERBAIJAN (ACCORDING TO GLOBAL POSITIONING SYSTEM MEASUREMENTS)

Fakhraddin Kadirov[1] and **Samir Mammadov**[1],
Robert Reilinger[2] and **Simon McClusky**[2]

1 – Geology Institute, Azerbaijan National Academy of Sciences, Baku, Azerbaijan
2 – Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences
Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, USA

Abstract

Global Positioning System (GPS) observations in Azerbaijan and surrounding areas of the Caucasus region are providing quantitative constraints of the geometry of active fault systems, and rates of present-day deformation. West of 48° E longitude, the Main Caucasus Trust Fault (MCT) follows the sharp change in slope along the south side of the Greater Caucasus as is well known from prior seismic, geophysical, and geologic studies. However, east of this longitude the MCT turns sharply to the south, crossing the Kura Depression and extending along the western side of the Caspian Sea (here called the West Caspian Fault; WCF). While the MCT is predominantly a thrust fault west of 48°E longitude, the WCF is a pure right-lateral, strike slip fault with a slip rate of 11 ± 1 mm/yr south of the Absheron Peninsula. We also document shortening of 4 ± 1 mm/yr along the northern side of the Greater Caucasus in Dagestan on a roughly E-W striking fault that turns to the south inland of the north Caspian shoreline. This fault configuration implies that the Baku area is at the junction of four fault systems, the MCT, the West Caspian Fault, the North Caspian Fault, and the Central Caspian Seismic Zone. The rate of convergence on the MCT decreases from east to west from 10 ± 1 mm/yr at 48° E longitude to 4 ± 1 mm/yr in northwestern Azerbaijan (~46°E longitude). In eastern Azerbaijan, there is no evidence of active shortening in the Lesser Caucasus or Kura Depression, indicating that any deformation in this area is below present velocity uncertainties (± 0.5 mm/yr). The present-day pattern of horizontal motions in aggregate suggests that the Lesser Caucasus and Kura Depression are rotating coherently (i.e., little or no internal deformation) in a counterclockwise sense about a pole located near the NE corner of the Black Sea, resulting in the observed W to E increase in the rate of convergence along the MCT. These new, quantitative constraints on fault activity provide an improved physical basis for estimating earthquake hazards in Azerbaijan.

Introduction

Azerbaijan is caught in the active continent-continent collision of the Arabian plate with Eurasia (Mckenzie, 1972; Sengor et al., 1985; Philip et al., 1989). Plate tectonic reconstructions provide only broad constraints on the timing of the initial collision of the Arabian Plate with Eurasia of between 10 – 30 Ma BP (e.g., Robertson, 2000; Allen et al., 2004), and indicate that the rate of northward motion of Arabia relative to Eurasia has remained more or less constant at about 20 mm/yr since collision began (McQuarrie et al., 2003; Reilinger et al., 2006a). These reconstructions imply that Arabia has progressed from 200 – 600 km "into" space formerly occupied by Eurasian continental lithosphere. This "intrusion" of Arabia into Eurasia continues to be accommodated by lithospheric shortening on roughly E-W striking thrust faults and lateral displacement of lithosphere out of the collision zone along right-lateral strike-slip faults (McKenzie, 1972; Sengor et al., 1985; Jackson, 1992; Kadirov, 2004; Reilinger et al., 2006b). These regional tectonic processes give rise to earthquakes that have devastated the Caucasus region throughout recorded history.

In this paper we use Global Positioning System (GPS) observations in and around Azerbaijan to estimate present-day surface motions. The ob-

served motions (site velocities) allow us to identify zones of rapid strain accumulation that we interpret as resulting from deep slip on faults that are presently locked at crustal depths and will likely give rise to future earthquakes. The GPS-derived surface motions allow estimation of fault geometry, slip rates, and locking depths (e.g., Okada, 1992), thereby providing an improved physical basis for estimating regional earthquake hazards. For example, the estimated rate of slip on the deep, freely sliding section of the Main Caucasus Thrust Fault (MCT) determined by GPS observations of surface motion, and estimates of slip in prior earthquakes (from study of historic and pre-historic earthquakes) allows estimation of the time required to accumulate sufficient strain to generate an earthquake, or equivalently, the earthquake recurrence time for individual fault segments (assuming the time-predictable earthquake model; Shimazaki, and Nakata, 1980). Furthermore, the total coseismic slip from prior earthquakes, together with estimates of the locking depth of the fault (from the wavelength of the GPS deformation field), and the length of fault segments (from geological and geophysical studies) allow estimation of the magnitude of future events. Thus, our GPS observations have the potential to constrain the timing and magnitude of future earthquakes.

GPS network and Data Processing

Figure 1 shows the present configuration of the GPS network, developed by the Geology Institute, Azerbaijan National Academy of Sciences in collaboration with Massachusetts Institute of Technology, superimposed on a simplified tectonic map. The network consists of 18 survey-mode sites and a continuously recording GPS station at the Geology Institute in Baku. The network was established during the period 1998 – 2007 with most survey stations measured from 3-5 times.

The GPS data were processed, and uncertainties were estimated, using the GAMIT/GLOBK software (King and Bock, 2004; Herring, 2004) following procedures described in Reilinger et al. (2006b). Briefly, the raw GPS observations were processed in a two step approach (Dong et al., 1998). In the first step, loosely constrained estimates of station coordinates, orbital and Earth orientation parameters, and atmospheric zenith delays were determined from dual frequency GPS carrier phase observations using GAMIT. Data from the Azerbaijan GPS network were analyzed along with raw GPS data from other continuously operating GPS stations in the region. In the second step, a global Kalman filter (GLOBK) was used to estimate a consistent set of station coordinates and velocities by combining the daily, loosely constrained solutions from step 1 and their associated covariances. As part of this second step, a 6 parameter transformation was estimated by minimizing the horizontal velocities of 49 globally distributed International GNSS Service (IGS) stations with respect to the IGS00 realization of the International Terrestrial Reference Frame 2000 (ITRF 2000) no-net-rotation reference frame. A random walk noise of 1 mm/√yr was also added to the velocity uncertainties for each site. Finally, the velocities were rotated into a Eurasian fixed frame to facilitate interpretation.

Figure 2 shows a map of GPS-derived site velocities within the territory of Azerbaijan (listed in Table 1) in the context of selected GPS velocities in surrounding areas. Velocities are shown in a Eurasia-fixed reference frame determined by minimizing motions for GPS stations that have been observed well and are broadly distributed across the Eurasian plate. No velocity was estimated for the Geology Institute, Baku station because of the short period of operation (established in 2007). Velocity uncertainties are mostly less than 0.6 mm/yr (1 sigma), allowing fairly precise estimates of convergence across the Caucasus mountain system (i.e., uncertainties are ~ 5% of the total convergence rate).

Discussion

On a broad scale, the GPS velocity field clearly illustrates the NNE motion of Azerbaijan and adjacent regions of the Lesser Caucasus with respect to Eurasia south of the MCT (Figure 2). The most pronounced feature of the velocity field is the decrease in site velocities across the MCT (i.e., between KURD and MEDR, and BILE and SHIK). Sites along the MCT show reduced, but significant NE motion that we interpret as being due in part to strain accumulation on this thrust fault (i.e., the fault is locked at crustal levels). In addition, there is a tendency for motions south of the MCT within the Kura Depression and Lesser Caucasus to increase in rate from W to E along strike of the mountain range.

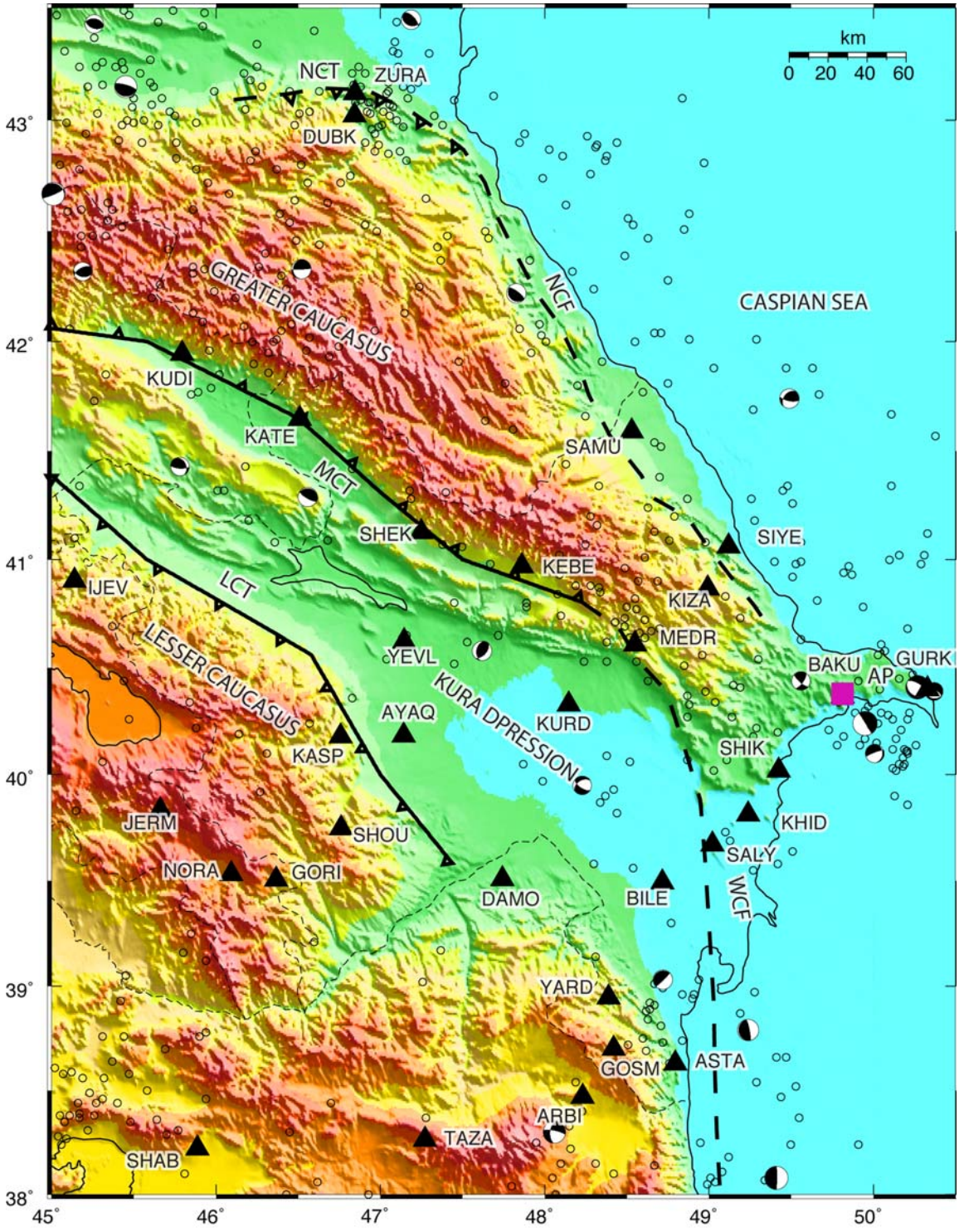


Figure 1. Azerbaijan GPS-Geodynamics Network. Triangles are survey sites and the square, the continuously recording GPS station at the Geology Institute, Baku (4-letter site names are shown and referred to in the text and Table 1). Base map shows topography, simplified tectonics, seismicity (National Earthquake Information Center Catalog, 1973 – 2007) and earthquake focal mechanisms (lower hemisphere projections, from Harvard Catalog, 1976 to 2007). Abbreviations: NCT = North Caucasus Thrust fault, MCT = Main Caucasus Thrust fault, LCT = Lesser Caucasus Thrust fault, WCF = West Caspian Fault, NCF = North Caspian fault, AP = Absheron Peninsula.

Table 1

Azerbaijan GPS site locations, velocities, and 1-sigma uncertainties

Long. (deg)	Lat. (deg)	E&N Rate (mm/yr)		E&N + (mm/yr)		SITE
50.329	40.404					GURK
49.814	40.372					BAKU
49.426	40.025	5.20	2.17	0.52	0.51	SHIK
49.237	39.818	5.16	6.45	1.40	1.42	KHID
49.120	41.066	0.99	0.74	0.53	0.52	SIYE
49.020	39.676	6.87	6.14	1.35	1.37	SALY
48.993	40.870	1.27	2.47	0.79	0.75	KIZA
48.796	38.635					ASTA
48.717	39.497	6.06	12.28	0.53	0.52	BILE
48.551	40.614	2.67	4.78	0.52	0.51	MEDR
48.529	41.595	0.87	1.53	0.54	0.53	SAMU
48.419	38.706	5.33	12.42	0.57	0.55	GOSM
48.388	38.952	5.65	12.66	0.56	0.55	YARD
48.148	40.333	3.57	10.36	0.66	0.62	KURD
47.863	40.975	0.56	4.83	0.52	0.51	KEBE
47.250	41.132	0.74	5.86	0.51	0.51	SHEK
47.146	40.626	1.71	4.90	0.70	0.66	YEVL
47.143	40.190					AYAQ
46.511	41.652	0.19	5.31	0.51	0.51	KATE

We estimate shortening across the eastern segment of the MCT from the velocity difference between site KURD in the Kura Depression and SIYA on the Caspian Sea coast north of the Absheron Peninsula (Figure 2). The total velocity difference is 10 ± 1 mm/yr, corresponding to the rate of shortening across the MCT at ~48° E longitude.

In western Azerbaijan shortening across the Greater Caucasus is distributed between the MCT and a south dipping thrust fault along the northern edge of the mountain range in Dagestan (North Caucasus Thrust; NCT). GPS sites ZURA and DUBK in Dagestan indicate northward motion at about 4 ± 1 mm/yr. Using GPS sites in the Lesser Caucasus, we estimate 4 ± 1 mm/yr shortening across both the MCT and the NCT at 46° E longitude.

An important result of this study is the sharp decrease in site velocities, and the clockwise rotation, between sites located in the Lesser Caucasus and Kura Depression in E Azerbaijan (GOSM, YARD, BILE) and site SHIK located near the Caspian Sea coast just south of the Absheron Peninsula (Figure 2). This decrease and rotation in velocity requires that the MCT turns to the south, east of 48° E longitude, and does not traverse the Absheron Peninsula. We here call this extension of the MCT the West Caspian Fault (WCF). This is best illustrated by the GPS velocity profiles shown in Figure 3A, and B. The location of the profile is shown on Figure 2. Figure 3A shows the component of site velocity parallel to the fault at this location (rate of right-lateral strike slip), and Figure 3B the component of site velocity normal to the fault (i.e., rate of fault-normal motion). Figure 3A indicates 11 ± 1 mm/yr right-lateral strike slip motion across the WCF, while Figure 3B indicates no significant fault-normal motion along the segment of the MCT/WCF south of the Absheron Peninsula.

As noted earlier, the small, but significant motion for sites in Dagestan (Figure 2) indicates N-S shortening on the NCT of about 4 ± 1 mm/yr. The absence of resolvable motion relative to Eurasia at the site on the Caspian coast north of the Absheron Peninsula in Azerbaijan (SIYA) requires that the NCT that accommodates this shortening turns to the south inland from the Caspian coast line, presumably transforming to right-lateral, strike slip motion (Figure 2). This geometry for the NCT is roughly consistent with some earlier interpretations of the regional tectonics (e.g., Philip et al., 1989), and indicates that the Baku area is located at a highly complex junction between four fault systems, the MCT, the Central Caspian Seismic Zone, the North Caspian Fault, and the West Caspian Fault.

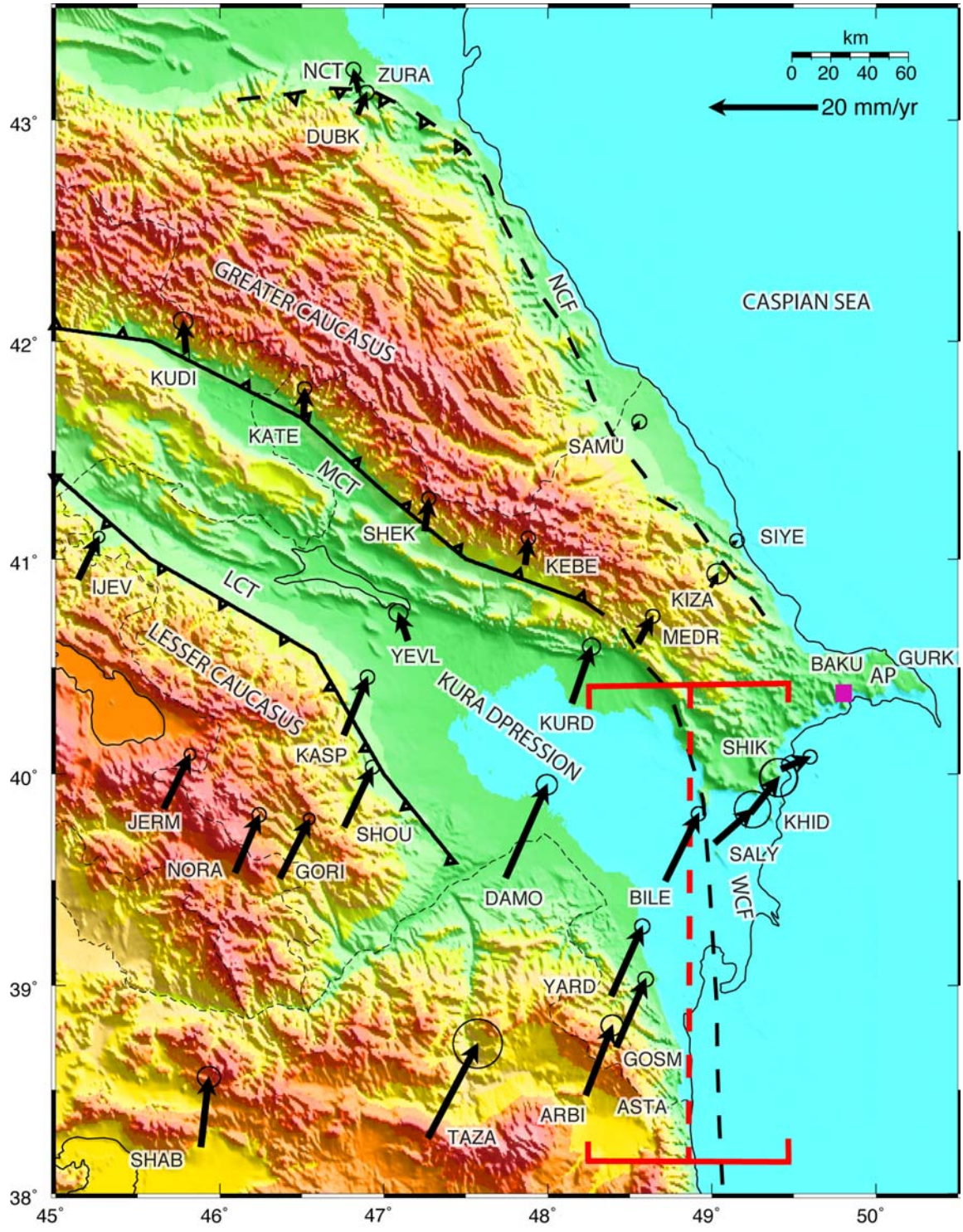


Figure 2. GPS-derived velocity field, and 95% confidence ellipses for Azerbaijan and surrounding areas of the Caucasus region shown with respect to Eurasia. Site velocities outside the territory of Azerbaijan are from Reilinger et al. (2006). The location and width (brackets) of the velocity profiles along (Figure 3A) and across (Figure 3B) the southern extension of the Main Caucasus Thrust Fault (West Caspian Fault) is also shown

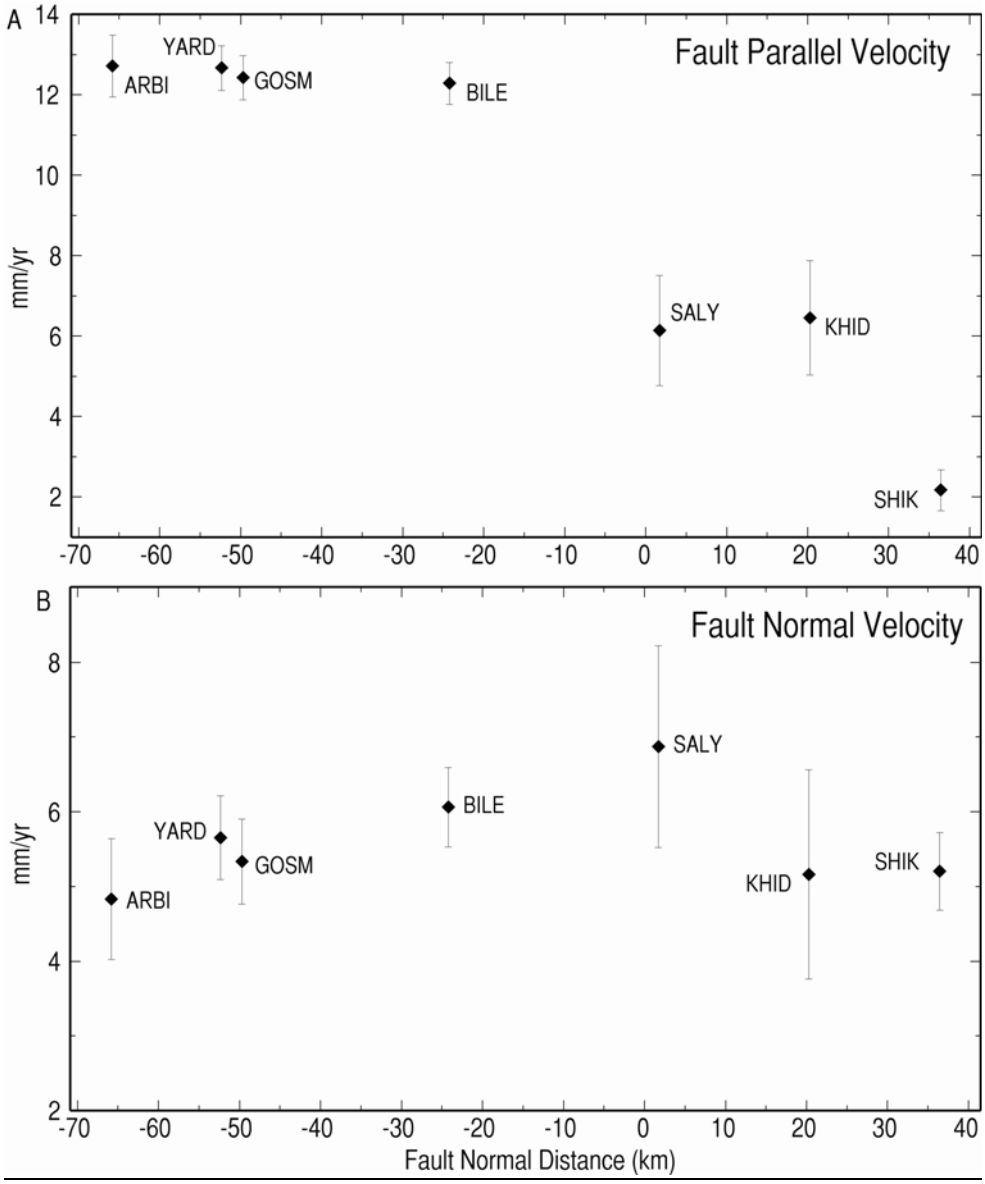


Figure 3. GPS velocities with respect to Eurasia with 1-sigma uncertainties plotted versus distance along the profile shown in Figure 2. (A) The component of motion parallel to the WCF (i.e., right-lateral strike slip). (B) The component of motion normal to the strike of the WCF. The profiles indicate predominantly right-lateral strike slip motion on the West Caspian Fault at 11 ± 1 mm/yr.

While the available GPS data provide fundamentally new constraints on fault geometry and rates of strain accumulation, spatial densification of the GPS observations is needed to better resolve localized deformation, and consequently the seismic hazard in the eastern Caucasus, Kura Depression, and Absheron area.

Conclusions

Repeat GPS measurements in Azerbaijan during the period 1998 – 2007 are providing direct observations of present-day surface motions. They clearly define active convergence between the Lesser Caucasus/Kura Depression and the Greater Caucasus with strain concentrated along the Main Caucasus Thrust Fault (MCT). Present-day slip rates on the MCT decrease from 10 ± 1 mm/yr in eastern Azerbaijan to 4 ± 1 mm/yr in western Azerbaijan. These new observations further indicate that the MCT turns sharply to the south, west of the Absheron Peninsula, transforming into a predominantly right lateral strike

slip fault with a slip rate of 11 ± 1 mm/yr south of the Absheron Peninsula. We here name this south-striking extension of the MCT the West Caspian Fault. GPS-derived motions in the North Caucasus of Dagestan and along the Caspian coast in Azerbaijan north of the Absheron Peninsula require that thrust faulting along the south-dipping North Caucasus Thrust in Dagestan turns to the south inland of the Caspian coast, presumably accommodating right-lateral strike slip motion on the "North Caspian Fault". These interpretations of the GPS velocity field place Baku at the junction of four active fault systems, the MCT, the North and West Caspian faults (likely right-lateral, strike slip), and the Central Caspian Seismic Zone. More focused geodetic monitoring of surface motions are needed in the Baku region and Kura Depression, as well as in the immediate vicinity of other active faults to constrain better fault locations, interactions, and locking depths to provide an improved basis for evaluating earthquake hazards.

Acknowledgments

We are grateful to the survey personnel who assisted with the field observations in Azerbaijan, and the many individuals that maintain the global IGS stations used in our analysis. The maps in this paper were generated using the public domain Generic Mapping Tools (GMT) software (Wessel and Smith, 1995). This work was supported in part by the Geology Institute, Azerbaijan National Academy of Sciences and NSF Grant EAR-0337497 to MIT.

REFERENCES

ALLEN, M., JACKSON, J., WALKER, R. 2004. Late Cenozoic reorganization of the Arabia-Eurasia collision and the comparison of short-term and long-term deformation rates. *Tectonics, 23*, doi: 10.1029/2003TC001530.

DONG, D., HERRING, T.A., KING, R.W. 1998. Estimating regional deformation from a combination of space and terrestrial geodetic data. *J. Geodesy, 72,* 200-211,

HERRING, T.A. 2004. GLOBK: Global Kalman filter VLBI and GPS analysis program version 4.1, Massachusetts Institute of Technology. Cambridge. MA.

JACKSON, J. 1992. Partitioning of strike-slip and convergent motion between Eurasia and Arabia in eastern Turkey. *J. Geophys. Res., 97*, 12471–-12479.

KADIROV, F.A. 2004. Gravity model of lithosphere in the Caucasus-Caspian Region. In: *South Caspian Basin: Geology, geophysics, oil and gas content*. Geology Institute, Azerbaijan National Academy of Sciences. Publishers Nafta Press. Baku, Azerbaijan.

KING, R. W., BOCK, Y. 2004. Documentation of the MIT GPS analysis software: GAMIT. Mass. Inst. of Technol. Cambridge.

McKENZIE, D.P. 1972. Active tectonics of the Mediterranean region. *Geophys. J. R. Asron. Soc.,* 30, 239-243.

McQUARRIE, N., STOCK, J., VERDEL, C, WERNICKE, B.P. 2003. Cenozoic evolution of Neotethys and implications for the causes of plate motions. *Geophys. Res. Lett*., 30(20), 2036, doi:10.1029/2003GL017992.

OKADA, Y. 1992. Internal deformation due to shear and tensile faults in a half-space. *Bull. Seismol. Soc. Am., 82*, 1018-1040.

PHILIP, H., CISTERNAS, A., GVISKIANI, A., GORSHKOV, A. 1989. The Caucasus: An actual example of the initial stages of continental collision. *Tectonophysics*, 161, 1–21.

REILINGER, R., McCLUSKY, S., ArRAJEHI, A., MAHMOUD, S., RYAN, A., GHEBREAB, W., OGUBAZGHI, G., AL-AYDRUS. A. 2006a. Geodetic constraints on rupturing of the continental lithosphere along the Red Sea. *MARGINS Newsletter*, 17, 16-19.

REILINGER, R. S. and 22 others. 2006b .GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions. *J. Geophys. Res.,* BO5411, doi:10.1029/2005JB004051.

ROBERTSON, A.H.F. 2000. Mesozoic-Tertiary tectonic evolution of a south Tethyan ocean basin and its margins in southern Turkey. In: *Tectonics and Magmatism in Turkey and the Surrounding Area*, edited by E. Bozkurt, J.A. Winchester, and J.D.A. Piper, *Geol. Soc. Spec. Pub. London, 173*, 97-138.

SENGOR, A.M.C., GORUR, N., SAROGLU, F. 1985. Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study. In: *Strike-slip Faulting and Basin Formation* (Biddle, K.T. and N. Christie-Blick, eds.), *Society of Econ. Paleont. Min. Sec. Pub.,37,* 227-264.

SHIMAZAKI, K., NAKATA, T. 1980. Time-predictable recurrence model for large earthquakes. *Geophys. Res. Lett. 7*, 279-282.

WESSEL, R., SMITH, W.H.F. 1995. New version of the Generic Mapping Tools released. *EOS Trans AGU*, 76, 329.

© Б.Г.Каландаров, 2008

ТИПОМОРФНЫЕ СВОЙСТВА СФАЛЕРИТА ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ МАЛОГО КАВКАЗА (Азербайджанская часть)

Б.Г.Каландаров

Бакинский Государственный Университет
AZ1073, Баку, ул. З.Халилова, 23

В статье изложены некоторые типоморфные особенности сфалерита месторождений полиметаллических руд Малого Кавказа. Типоморфизм сфалерита рассматривается в различных аспектах: вариации состава минерала в месторождениях разных рудных формаций и изменения его в процессе рудообразования от ранних генераций к поздним, а также в зависимости от его нахождения в рудных парагенезисах.

Возможности применения изучения типоморфизма минералов в решении ряда генетических вопросов эндогенного рудообразования и в практике геологоразведочных работ изложены в работах Ф.В.Чухрова, Н.В.Петровской, Д.П. Григорьева, А.И.Гинзбурга, А.А.Годовикова, М.Г.Добровольской, Т.Н.Шадлун и многих других исследователей. Особенности типоморфизма минералов руд ряда полиметаллических месторождений освещены также в публикациях самого автора (Каландаров, 2004; Рамазанов и др., 2004).

Сфалерит является одним из основных типоморфных минералов полиметаллических месторождений. Он относится к переменным по составу минералам, четко фиксирующим незначительные изменения в минералообразующей среде.

Особенности типоморфизма сфалерита нами рассматриваются в различных аспектах: вариации состава сфалерита в месторождениях разных рудных формаций и изменение его в процессе рудообразования от ранних его генераций к поздним в отдельных месторождениях, а также в зависимости от его нахождения в рудных парагенезисах. Исследование состава сфалерита базируется на собственных и литературных аналитических данных, полученных различными методами: полный химический анализ, микрозондовый, количественный и полуколичественный спектральный и лазерный микроспектральный анализы.

В Мехманинском месторождении, принадлежащем к собственно-полиметаллической формации, сфалерит проявляется в пирит-халькопирит-сфалеритовой и сфалерит-галенитовой рудных стадиях. Характерными элементами-примесями его являются As, Sb, Mn, Au, Ga, Fe, Bi, Sn, In, Cu, Ag. Содержание железа в сфалерите пирит-халькопирит-сфалеритовой стадии не превышает 4,6%, кадмия – 0,2%. По данным А.С.Гейдарова, Г.Х.Эфендиева и др. (1966), содержание железа в сфалеритах Мехманинских руд варьирует от 0,39 до 2,21%, а Б.А.Балакишиевой (1964) – от 0,04 до 4,0%. Графическое изображение распределения содержаний главных элементов-примесей сфалерита полиметаллической формации дано на рисунке 1.

Сфалерит-галенитовая стадия является главной продуктивной стадией; проявляется она во всех рудных жилах. Сфалерит II этой стадии прозрачен и не содержит продуктов распада твердого раствора. Содержание железа в нем не превышает 0,2%, а количество кадмия увеличивается до 0,84%. В этой же стадии в ассоциации со сфалеритом выделяется блеклая руда, взаимоотношение которой со сфалеритом II свидетельствует о ее более позднем, но ранее халькопирита III и галенита I выделении.

Характерной особенностью сфалеритов Мехманинского месторождения является также повышенная их золото- и сереброносность (табл. 1).

По золотоносности выделяются два типа сфалеритов. В первом типе одновременно присутствуют золото и серебро с содержаниями до 2,0 г/т и 23,0 – 38,22 г/т соответственно. В другом типе оба эти элемента отсутствуют (табл. 1).

Таблица 1

Содержания золота, серебра и меди в сфалеритах Мехманинского месторождения (по данным Н.Р.Ильясова, 1974).

Наименования жил и выработки	Кол-во анализов	Сфалерит		
		Au, г/т	Ag, г/т	Cu, %
Дмитриевская, шт.№1	2	0,08	25,0	0,06
Спиридоновская, шт.№37	2	2,0	23,0	0,06
Жила №5, шт.№30	2	-	-	-
Жила №2, шт.№35	2	1,8	23,2	0,06
Кургушун-Цакер, шт.№№21, 22	6	0,04	31,69	0,01
Жила «Б», шт.№№15, 27, 40	8	сл.		0,06

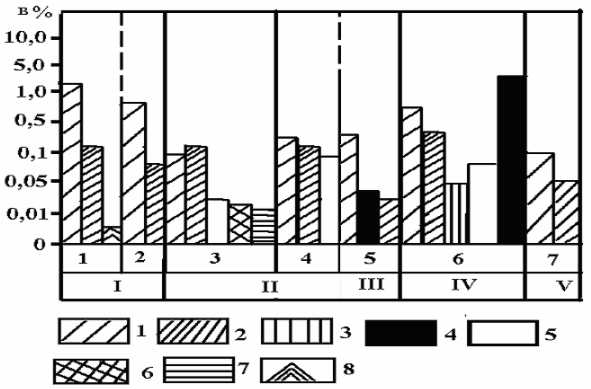


Рис. 1. Содержания главных элементов-примесей в сфалерите месторождений различных полиметаллических формаций.
1–8 – элементы-примеси: 1–железо; 2-кадмий; 3–марганец; 4–медь; 5– кобальт; 6–селен; 7–теллур; 8-индий.
1-7 – рудные объекты.
I-V–Полиметаллические формации: 1 собственно полиметаллическая (1–Мехманинское, месторождение, 2–Гюмушлукское месторождение); II–колчеданно-полиметаллическая (3–Агдаринское месторождение, 4–Ковурмадаринское); Ш–золото-полиметаллическая (5–Дагкесаманское месторождение); IV–медно-полиметаллическая (6–Ашагы-Оксюзлинское рудопроявление); V–барит-полиметаллическая (7–Башкишлакское месторождение).

Другой особенностью сфалеритов данного месторождения является их редкометальность. Постоянными их примесями являются Cd (0,11-0,38%; в среднем 0,22%), In (0,0025–0,029%, в среднем 0,021%) и Tl (0,0001-0,0003%, в среднем 0,0002%) (Гейдаров, Эфендиев и др., 1966). Согласно данным Г.Х.Эфендиева (1957), сфалериты различных генераций показывают повышенные содержания кадмия: сфалерит I марматитового типа, темноокрашенный – 0,34%, сфалерит II, темно-серый – 0,21%, медово-желтый – 0,82%. Согласно данным А.С.Гейдарова, Г.Х. Эфендиева и др. (1966), сфалерит является также основным концентратором индия (до 210 г/т). Б. А.Балакишиева (1964) в качестве основных концентраторов индия в полиметаллических месторождениях называет халькопирит (до 460 г/т) и сфалерит (до 340 г/т).

Разновидности сфалерита – марматит и клейофан – содержат элементы-примеси в различных количествах. В целом, содержание селена в сфалеритах колеблется от 0,61 г/т в медово-желтом клейофане до 2,3 г/т в серовато марматите. В медово-желтом и зеленовато-желтом клейофане и светло-сером марматите соотношение Se:Te составляет 1:1,2. В темно-сером с черноватым оттенком марматите эта величина доходит до 1:1,8.

Сфалерит является широко распространенным минералом колчеданно-полиметаллических руд Агдаринского месторождения и встречается в трех генерациях. Практический интерес представляет сфалерит второй и третьей генераций. Сфалерит II связан с кварц-сфалерит-халькопиритовой ассоциацией, сфалерит III – с кальцит-галенит-сфалеритовой. Он характеризуется широким набором изоморфных примесей – Fe, Co, Cd, Cu, Sb, концентрация которых варьирует в различных генерациях минерала. Сфалериты Агдаринского месторождения отличаются от сфалеритов Парагачайского месторождения и Ковурмадаринского рудопроявления, расположенных в пределах одного и того же рудного района (Ордубадского), присутствием Co и Sb, значительным содержанием меди

(0,13–0,16%), а также полным отсутствием марганца (табл.2). В них установлены селен (0,4–31,5 г/т) и теллур (4,0–10,6 г/т). Соотношение Se:Te составляет 1:0,64. К важнейшей примеси относится ртуть, являющаяся чувствительным индикатором геохимической зональности. Содержание железа в сфалеритах Агдаринского месторождения не очень-то высокое. Оно колеблется в пределах 0,11–0,28%. Согласно представлениям М.Д.Добровольской (1989), на степень железистости сфалерита влияют физико-химические условия его кристаллизации. Главным фактором, определяющим высокую железистость сфалерита, является низкая активность серы в растворе. Образование, как в данном случае, безжелезистого и маложелезистого сфалерита происходило при большой активности серы. Различная активность серы в минералообразующей среде явилась причиной не только изменения состава сфалерита, но и образования его в различных парагенетических ассоциациях: с пирротином, пиритом, халькопиритом и галенитом. Существенное значение при этом могли также иметь термодинамические условия.

Сфалерит Дагкесаманского месторождения представлен в основном крупнозернистыми агрегатами, иногда в тесном срастании с халькопиритом и галенитом. Крупные выделения минерала содержат единичные зерна пирита куб-октаэдрического габитуса. В массивных и полосчато-брекчиевидных рудах агрегаты сфалерита сцементированы кальцитом. Отдельные зерна сфалерита содержат тонкую и редкую эмульсионную вкрапленность халькопирита без видимой закономерной ее ориентировки.

Сфалерит отлагается в двух генерациях, создавая различные парагенетические взаимосвязи с галенитом. Сфалерит I интенсивно корродирует ранний пирит и содержит эмульсионную вкрапленность халькопирита, в свою очередь сечется поздним пиритом и прожилками халькопирита. Поздний сфалерит представлен зернами серовато-зеленого цвета и является наложенным на минеральные ассоциации первой и второй стадии минерализации.

Таблица 2

Химический состав сфалеритов из некоторых полиметаллических месторождений Малого Кавказа (%)

Месторождения и рудопроявления	Zn	Fe	Cd	Co	Mo	Cu	Sb	S	Сумма
Дагкесаманское	65,21 65,21	1,06 1,12	- -		- -	0,03 0,03	- -	33,42 33,42	99,71 98,67
Тутхунское	64,52 65,30	0,03 0,62			0,1 1,0	0,02 0,20		34,7 32,7	99,29 99,74
Агдаринское	65.70 66.40	0,28 0,11 0,2	0,18 0,39 0,28	0,02 0,04	- -	0,13 0,16	0,06 0,01	33,0 32,5	99,37 99,56
Ковурмадаринское	66.20 66.70 66.85 66.60 65.84	0,21 0,84 0,14 0,18 0,63 0,4	0,72 0,31 0,37 0,25 0,35 0,32		0,16 0,12 0,09 0,15 0,08 0,12	- - - - -	- - - - -	32,64 32,46 32,26 32,20 32,50	99,57 100,45 99,70 99,38 99,40

С наличием элементов-примесей (Fe,Cu) в сфалерите непосредственно связана его твердость (табл.3), пределы изменения этого физического параметра составляют 164–299,4 кгс/мм^2. Установлено, что с увеличением железа повышается микротвердость сфалерита, т.е. микротвердость минерала является в некоторой степени индикатором его состава. В сфалерите Дагкесаманского месторождения при изменении твердости от 164 до 284 кгс/мм^2 содержание железа изменяется от 6,20 до 2,19 %. Сфалерит является главным минералом-носителем такого редкого элемента как кадмий. Содержание его в сфалеритах Дагкесаманского месторождения изменяется от 0,0011 до 0,096 %. Анализируя данные по микротвердости сфалерита и содержания в нем кадмия, наблюдаем закономерную связь между этими двумя параметрами, иными словами, с увеличением в нем содержания кадмия микротвердость сфалерита повышается.

Сфалериты из руд медно-полиметаллической формации наблюдаются в значительном количестве в рудопроявлениях Килисали и Оксюзли. Сфалерит образует разнозернистые агрегаты, темные по окраске, относящиеся к железистым разностям. Под микроскопом наблюдается двойниковое строение. Химическим анализом, произведенным в химической лаборатории ИГЕМ АН РФ, в составе сфалерита в качестве примесей установлены: Pb, Ni, Co, Cu, Ag, Au, Fe; спектральным анализом, помимо указанных, также обнаружены Mn, Ga, Cd, Ti, Mg. Постоянными примесями из указанных являются Cu, Fe, Cd, содержание их соответственно составляет 1,45–5% ; 0,94–2% ; 0,4%.

Сфалерит барит-полиметаллической формации рассматривается на примере Башкишлагского месторождения, особенности минерального состава руд которого детально охарактеризованы П.С.Гаврилюк (1974). Сфалерит, тесно ассоциируя с пиритом, халькопиритом, галенитом, блеклой рудой, борнитом и др. минералами, образует гнездообразные и полосчатые скопления в лежачем боку баритовых жил. Выделяются две разновидности: светлоокрашенный в зеленовато-желтый и янтарный цвета, близкий к клейофану, и темно-коричневый до черного, близкий к марматиту. Встречаясь вместе, последний всегда преобладает над первым.

Микротвердость сфалерита колеблется в широких пределах – от 169 до 232 кг/мм^2. Среднее значение – 221 кг/мм^2 (рис.2). Наиболее часто сфалерит наблюдается в срастании с халькопиритом, галенитом и блеклой рудой. С пиритом он образует гипидиоморфнозернистые структуры срастания, часто переходящие в коррозионные структуры замещения пирита сфалеритом. Иногда он полностью замещает серный колчедан, образуя цементоподобные структуры. В сплошных полях часто встречаются корродированные зерна пирита.

Устанавливается тесная связь пирита с халькопиритом. Последний корродирует сфалерит. Часто наблюдается эмульсионная вкрапленность халькопирита в сфалерите. Очень часто отмечаются неправильные эмульсионные округлые, червеобразные и пламеневидные выделения халькопирита в сфалерите – продукты распада их твердых растворов, возникшие в результате собирательной кристаллизации. Из более поздних минералов сфалерит наиболее интенсивно замещается борнитом. Часто борнит образует вокруг сфалерита заливообразные реакционные каемки.

Таблица 3

Микротвердость и элементы-примеси сфалерита Дагкесаманского месторождения

№№ обр.	Микротвердость, кгс/мм^2	Элементы-примесы	
		Fe	Cu
63	164	6,2	0,06
59	182	4,55	0,27
69	196	2,5	0,6
58	204	2,78	0,44
65	208	2,32	0,47
51	214	2,19	0,64

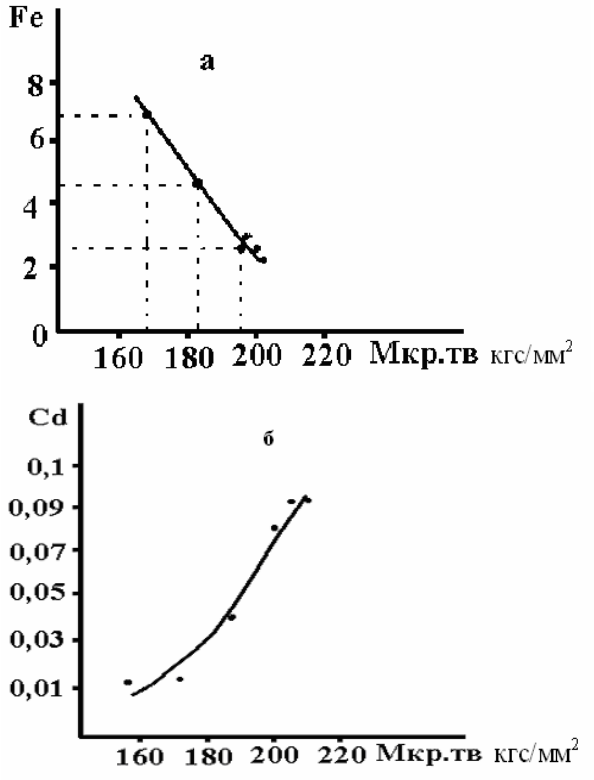


Рис. 2. Зависимость микротвердости сфалерита от содержания железа (а) и кадмия (б).

Взаимоотношения сфалерита с ассоциирующими минералами свидетельствуют о выделении его до пирита и кварца первой генерации, одновременно с халькопиритом, галенитом, гипогенным борнитом, блеклой рудой, выделение которых продолжалось и после образования сфалерита.

Характерными элементами-примесями сфалерита являются (в %): As (до 0,1%), Sb (0,2%), Ag (0,001-0,003), Ga (0,001-0,003), Cd (0,001-0,05), Mn (0,03-0,1), Ni (0,001 %), Ba (0,05). Их содержания, кроме галлия и никеля, значительно превышают кларковые значения. Заметное количество сурьмы и мышьяка связано, по-видимому, с включениями блеклой руды. Температура образования сфалерита 220–280^0 и 340–380^{0}C.

Из вышеизложенного можно сделать следующие выводы.

Сфалериты руд исследованных формаций характеризуются значительной вариацией содержания железа. Как следует из таблиц 1, 2, 3, содержание его колеблется в пределах от 0,10 до 6,2 %. В то же время следует отметить, что высокая железистость являясь геохимическим признаком и характерна только для сфалеритов Дагкесаманского месторождения (1,06-6,2%), по которому можно устанавливать его парагенетические ассоциации с другими сульфидами. Сфалериты месторождений остальных формаций отличаются очень низким содержанием железа (0,1– 1,52 %).

Главным фактором, определяющим высокую железистость сфалерита, является низкая активность серы в растворе. Образование безжелезистого и маложелезистого сфалерита происходило при большой активности серы. Различная активность серы в минералообразующей среде явилась причиной не только изменения состава сфалерита, но и образования его в различных парагенезисах: с пирротином, пиритом, халькопиритом и галенитом.

Сфалериты из месторождений различных формаций характеризуются почти постоянным набором элементов-примесей, но содержания каждого из них неодинаковы. Различные содержания ведущих примесей (Fe, Mn, Cd, Cu, Co, Hg) характерны для ранних и поздних генераций сфалерита. Установлено, что от ранней генерации к поздней в сфалерите уменьшается количество Fe, Mn, Co, иногда увеличиваются содержания Cd, Hg, иногда Ga.

Формы нахождения и закономерности распределения элементов-примесей в сфалерите различные. При изучении поведения Cd в сфалерите установлено, что значительные количества его наблюдаются в маложелезистых сфалеритах. Относительно высокие содержания меди (до 1,45 %) в сфалеритах характерны для руд медно-полиметаллической формации. Присутствие кобальта (до 0,04 %) отмечено главным образом в сфалерите из Агдаринского месторождения. Вхождение меди в сфалерит в виде изоморфной примеси ограничено. Высокие концентрации меди в сфалерите, скорее всего, обусловлены включениями халькопирита.

ЛИТЕРАТУРА

БАЛАКИШИЕВА, Б.А. 1966. Геохимия кадмия в свинцово-цинковых месторождениях Азербайджана. В кн.: *Геохимия редких элементов*. Изд. АН Азерб. ССР, Баку.

БАРТОН, П.В. 1966. Химическая обстановка рудоотложения и проблемы переноса рудообразующих эле-

ментов при низких температурах. В сб.: *Проблемы эндогенных месторождений*. ИЛ. Москва. 360.

ГАВРИЛЮК, П.С. 1974. Геолого-структурные и физико-химические условия формирования Башкишлагского месторождения баритовых и полиметаллических руд (Малый Кавказ). Авт. канд. дисс. Баку. 32.

ГЕЙДАРОВ, А.С., ЭФЕНДИЕВ, Г.Х., ЛАЖИНИНА, Н.Ф., АБДУЛЛАЕВА, Р.С. 1966. Редкие элементы руд Мехманинской группы полиметаллических месторождений. В кн.: *Геохимия редких элементов*. Изд. АН Азерб. ССР. Баку.

ДОБРОВОЛЬСКАЯ, М.Г. 1989. Свинцово-цинковое оруденение (рудные формации, минеральные парагенезисы, особенности рудообразования). Наука. Москва. 216.

ИЛЬЯСОВ, Н.Р. 1974, Геохимия золота и серебра в месторождениях и рудопроявлениях в одном из рудных полей Малого Кавказа. Авт. канд. дисс. Баку. 38.

КАЛАНДАРОВ, Б.Г. 2004. Типоморфные особенности руд золото-полиметаллической формации (на примере Дагкесаманского месторождения**).** *Известия Бакинского Университета, серия естественных наук,* 3.

ПЕТРОВСКАЯ, Н.В. 1969. О типоморфизме самородного золота. В кн.: *Проблемы геологии минер. месторождений, петрологии и минералогии. Т*.11.

ЧУХРОВ, Ф.В. 1969. Типоморфизм - важнейшая проблема современной минералогии. В сб: *Типоморфизм минералов*. Наука. Москва. 3-14.

ЭФЕНДИЕВ, Г.Х. 1957. Гидротермальный рудный комплекс северо-восточной части Малого Кавказа. Изд.АН Азерб.ССР. Баку.

ЭФЕНДИЕВ, Г.Х., ГЕЙДАРОВ, А.С., АГАЕВА, Ф.И., КИСЛЯКОВА, Л.Е., БАБАЕВА, З.Э. 1966. Редкие элементы Гюмушлугского месторождения свинцово-цинковых руд. В кн.: *Геохимия редких элементов*. Изд. АН Азерб. ССР. Баку.

RAMAZANOV, V.G., QƏLƏNDƏROV, B.H., ABBASOV, N.Ə., TƏHMƏZOVA, T.H. 2004. Ordubad filiz rayonu mis- və molibden porfir yataqlarında olan piritlərin tipomorf xüsusiyyətləri. *Bakı Universitetinin xəbərləri, Təbiət elmləri seriyası*, 2.

Рецензент: к.г.-м.н. С.Ф.Велизаде

© Г.В.Мустафаев, 2008

ОБ ИСТОЧНИКАХ МЕТАЛЛОВ В МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ЮЖНОГО СКЛОНА БОЛЬШОГО КАВКАЗА И РУДООБРАЗУЮЩЕЙ СИСТЕМЕ «МАНТИЯ – РУДА»

Г.В.Мустафаев

Институт геологии НАН Азербайджана
AZ1143, Баку, просп. Г.Джавида, 29А

В статье приводится анализ данных о рудообразующих элементах в осадочных и магматических комплексах Южного склона Большого Кавказа. Подтверждается высокая роль магматизма в формировании месторождений колчеданного семейства. Одновременно обосновывается, что в образовании месторождений упор на их связь только с магматизмом ограничивает возможности поисков, оставляет в тени другие источники образования месторождений, в частности, непосредственно из мантии по системе «мантия – руда» без проявлений магматизма.

Введение. Открытие азербайджанскими геологами в конце 50-х годов и в 60-е годы XX века серии крупных и средних по запасам колчеданно-полиметаллических и медно-пиротиновых месторождений на Южном склоне Большого Кавказа превратило регион в одну из крупных рудных провинций Кавказа в целом и Азербайджана в частности. Это открытие спровоцировало резкое увеличение количества научно-исследовательских работ, посвященных изучению геологического строения месторождений, их вещественного состава, генезиса и других вопросов, а также поисково-разведочных работ на предмет обнаружения новых рудных залежей. Естественно, всегда возникал вопрос – а каковы дальнейшие перспективы выявления новых залежей, или регион уже исчерпал свои возможности выявленными месторождениями? Из исследований по прогнозной оценке металлогенических зон Большого и Малого Кавказа следовало, что теоретически ресурсы меди, свинца и цинка в них известными месторождениями не исчерпываются (Булкин, Мустафаев, 1984), особенно в металлогенической зоне Южного склона Большого Кавказа, где эти ресурсы могут быть значительно увеличены как за счет доразведки известных месторождений и рудопроявлений, так и открытия новых рудных залежей. В этом аспекте установление источников рудного вещества является одним из поисковых признаков, способствующих научному обоснованию целенаправленных исследований.

Установление источника рудного вещества является одним из кардинальных вопросов теории рудообразования (Смирнов, 1976) и имеет важное практическое значение (Щеглов,1987). Данному вопросу посвящена обширная литература. Большинство исследователей выделяют три группы источников рудообразующих веществ, формирующих эндогенные месторождения: 1) ювенильные, связанные с глубинными подкоровыми магмами базальтоидного состава; 2) ассимиляционные, определяющиеся менее глубинными палингенными магмами гранитоидного состава и 3) фильтрационные, обусловленные мобилизацией рудообразующих веществ в процессе циркуляции.

При изучении рудного вещества месторождений Южного склона Большого Кавказа упор делался главным образом на ювенильный источник – базальтовую магму с ее кислыми дифференциатами, обусловившими полигенность и полихронность месторождений. Значительно реже, особенно на начальном этапе исследований, появлялись также работы об осадочном генезисе месторождений. Но не были охвачены исследованиями другие возможные источники рудного вещества, в частности, не изучена возможность формирования рудных залежей без проявления магматизма, непосредственно из мантийных эманаций. С учетом геологического строения Южного склона Большого Кавказа, сложенного преобладающе терригенно-осадочными отложениями и значительно меньше магматическими

образованиями, ниже мы рассмотрим возможные источники рудного вещества в следующей последовательности: 1) вмещающие осадочные породы, из которых в процессе фильтрационных процессов могли быть мобилизованы рудообразующие вещества с дальнейшей их концентрацией в благоприятных средах; 2) малоглубинные (коровые и/или подкоровые) магмы базальтоидного состава, дифференцированные от основных до кислых разностей в процессе длительной эволюции и возможной их контаминации; 3) глубокомантийные (нижнемантийные ?) источники, образующие систему «мантия – руда» без проявления магматизма в результате подъема мантийных эманаций в верхние слои коры, т.е.процесса дегазации мантии.

Геологическая позиция региона и рудных месторождений

Большой Кавказ считается одной из ветвей Мезотетиса и складчатого сегмента Альпийско-Гималайского пояса, сформированного между Скифской и Аравийской плитами. Обширный палеобассейн Южного склона Большого Кавказа в геодинамической градации относится к окраинноморским структурам, по центральной части которых в ранней юре в результате спрединга закладываются глубинные разломы и образуется глубоководный трог рифтогенного типа с накоплением, по разным авторам, от 6 до 10-11 км глинистых сланцев, превращенных впоследствии в аспидные, алевролитов и меньше песчаников. В средней и поздней юре область, воздымаясь, преобразуется в энсиматическую островную дугу. И в ранней и средне-поздней юре имел место в ограниченном масштабе (относительно объема осадочного комплекса) магматизм, вначале базальтовый, сменившийся в дальнейшем на базальт-андезит-дацитовый и габбро-диорит-плагиогранитовый, образовавший известный в геологической литературе «дайковый пояс». Несмотря на несопоставимое с осадочным комплексом ограниченное развитие магматических тел, магматизм обусловил формирование серии крупных промышленных месторождений колчеданного семейства. Месторождения сгруппированы в две формации: колчеданно-полиметалличес-кую стратиформную, залегающую среди сланцев согласно их напластованию, и медно-пирротиновую, ассоциирующуюся с дайкообразными телами магматических пород. И месторождения, и магматические тела сконцентрированы главным образом вдоль глубинных разломов и их оперяющих, в пределах наиболее приподнятого блока Южного склона Большого Кавказа, выделенного как Балакен-Загатальский рудный район. Восточнее по мере углубления трога и прогибания морского бассейна, соответственно понижения уровня последующих блоков, а также отсутствия видимых выходов магматических тел рудообразование резко идет на убыль, месторождения сменяются рудопроявлениями и минерализацией. Тесная пространственная связь промышленных месторождений с магматическими телами служила одним из критериев связи рудообразования с магматизмом.

Наличие промышленных месторождений колчеданно-полиметаллических и медно-пирротиновых руд и многочисленных их проявлений обусловило проведение широких исследований осадочных и магматических пород, а также рудных месторождений региона, отраженных в монографиях, диссертациях и научно-исследовательских отчетах. Результаты этих исследований обобщены в монографиях: «Геология СССР, т.47, Азербайджанская ССР. Полезные ископаемые» (1976), «Колчеданные месторождения мира» (1979), «Геология Азербайджана, том VI, Полезные ископаемые» (2003), «Минерально-сырьевые ресурсы Азербайджана» (2005). В геохимическом отношении рудообразующие элементы наиболее полно изучены М.А.Кашкаем и др. (1979), Г.В.Мустафаевым (2002, 2005), Г.В.Мустафаевым и др. (1984), З.М. Али-заде, Г.Л. Мустафаевым (1987), Р.Б.Керимовым (1991), Н.А.Новрузовым (2005) и др.

Рудовмещающие осадочные породы как возможные источники рудного вещества. Размещение месторождений колчеданно-полиметаллической формации среди сланцев ставит вопрос о геохимической специализации рудовмещающих осадочных отложений, представляющей практический интерес в аспекте решения вопроса об источнике рудных элементов. В таблице 1 приводится содержание главных рудообразующих элемен-

тов (меди, цинка, свинца и частично кобальта) в осадочных образованиях (глинистых сланцах, алевролитах и песчаниках) по возрастной группе в неизмененных разностях пород, отражающих их фоновые значения. В подверженных различным процессам породах, особенно в ореоле вмещающих рудные тела породах, их содержания значительно повышены. Согласно приведенным данным, выявляется, что 1) содержания главных рудообразующих элементов (Cu, Zn и Co) ниже кларка независимо от их возрастной принадлежности, только содержание свинца в среднеюрских осадочных породах равно или выше кларка; 2) в верхнеюрско-нижнемеловых и нижнемеловых осадочных отложениях содержания главных рудообразующих элементов значительно ниже, чем в среднеюрских.

Таблица 1

Фоновые содержания Zn,Pb,Cu и Co в мезозойских отложениях Балакен-Загатальского рудного района Южного склона Большого Кавказа, в г/т (Кашкай и др., 1979)

Возраст/ элемент	Zn	Pb	Cu	Co
K_1	8(30)	9(30)	19(30)	4(30)
J_3+K_1	15(37)	3(37)	22(41)	5(37)
$J_{2\ bt}$	55(8)	22(8)	39(8)	10(8)
$J_{2\ dj}$	58(94)	36(94)	32(98)	13(91)
$J_{2\ a}$	65(17)	28(19)	46(19)	27(16)
Кларки осадочных пород (Виноградов,1962)	80	20	57	20

Примечание: в скобках указано количество анализов.

Если сравнить содержания вышеприведенных элементов в различных литологических типах пород рудоносных и безрудных участков (табл.2), то выявляется большая разница, выраженная в высоком содержании указанных элементов на рудоносных участках, что объясняется как вторичными ореолами рудных тел, так и, возможно, скрытой минерализацией вмещающих рудные тела пород.

В табл.3 приводится материал по содержанию тех же элементов в зависимости от фациальных условий формирования осадочных пород в юрском палеобассейне Большого Кавказа. Так, З.М. Али-заде, Г.Л.Мустафаевым (1987) установлено, что содержания Cu, Pb, Ni в глинистых сланцах палеобассейна от его прибрежной части к глубоководной повышается, а кобальта понижается, хотя в песчаниках такая четкая закономерность не устанавливается.

Таблица 2

Кларки концентраций элементов на рудоносных и нерудоносных участках южного склона Большого Кавказа (по Мустафаеву и др., 1984)

Участки	Тип пород	Cu	Zn	Pb	Co	V	Cr	Ni	Sn	B
Рудоносные участки										
Кацдагский	Сланцы(313)	14,5	13,8	34,7	1,3	1,9	0,9	0,3	1,4	0,18
Катехский	Сланцы(173)	3,1	5,3	15,4	1,0	2,2	0,8	0,3	0,8	0,5
Кацмалинский	Сланцы(111)	11,2	5,0	5,3	1,0	1,5	0,6	0,4	1,6	0,3
Тенрос-Чугакский	Сланцы(196)	9,5	8,0	13,6	0,9	1,9	1,2	0,2	1,6	0,2
«	Песчаники(17)	1,8	1,9	1,5	1,1	1,8	1,1	0,3	0,15	0,1
Безрудные участки										
Габалинский	Сланцы(49)	1,0	0,7	0,7	1,3	0,3	0,7	0,4	0,4	0,5
Дуруджинский	Сланцы(95)	0,7	0,7	0,7	0,5	0,9	0,6	0,3	0,3	0,5
Кларки по Виноградову (1962)		57	80	20	20	130	100	95	100	100

Примечание: в скобках указано количество анализов.

Таблица 3

Содержания элементов (в г/т) в ааленских отложениях Восточного Кавказа
(по Али-заде, Мустафаеву, 1987)

Состав пород	Зоны	Cu	Pb	Zn	Co	Ni	B	Ba
Глинистые сланцы	Прибрежная	34	17	148	20	20	32	636
	Мелководная	38	22	133	18	33	47	403
	Глубоководная	55	29	152	15	39	65	338
Песчаники	Прибрежная	29	17	92	23	20	25	305
	Мелководная	26	24	77	14	26	38	226
	Глубоководная	33	25	106	10	24	23	260
Кларки по Виноградову (1962)		57	20	80	20	95	100	800

При этом содержание меди в глинистых сланцах достигает кларковых значений только в глубоководной части бассейна, содержание свинца незначительное, цинка – в два раза повышенное, а кобальта – пониженное. Эти закономерности устанавливаются также для Ni, B, Ba, однако их содержания значительно ниже кларка независимо от фациальных условий накопления. Эти данные не подтверждают выводов ряда сторонников осадочного генезиса колчеданно-полиметаллических месторождений Южного склона Большого Кавказа об окружающей суше, как источнике рудного вещества месторождений, с которой происходит снос рудных элементов в данный палеобассейн.

В процессе осадконакопления и дальнейшего диагенеза действительно элементы могут частично концентрироваться в локальных впадинах с застойной водой. В шельфовой зоне Черного моря, прилегающей к устьям рек Днепр, Днестр, Ингул, исследователями установлена пятикратная концентрация металлов с образованием аномалий содержания железа, золота, меди, кобальта и ряда других металлов, что связано с гранулометрическим составом выносимого реками материала. Аналогичные ореолы с повышенной концентрацией металлов выявлены и в Средиземном море, где она связана с осаждением мельчайших частиц обломочного материала и адсорбированных с ними коллоидных металлов. Известно, что глубоководные впадины Черного моря насыщены сероводородом. Черные пелитовые осадки, накапливающиеся в нем, содержат гидротроилит, который с ростом концентрации свободной серы переходит в мельниковит и пирит (Н.М.Страхов), что происходит и в сланцевой толще рудных районов Южного склона Большого Кавказа.

Исследователи отмечают, что распределение элементов по площади бассейна и в разрезе водной толщи современных морей и океанов неоднородно, что обусловлено глобальными и сезонными циркуляциями океанических и морских вод, но недостаточно интенсивными, чтобы создать распределение, близкое к однородному. Также они считают, что режим, благоприятный для седиментации, адсорбирования растворенных металлов коллоидным сульфидом железа, органическим дентритом и глинистыми частицами, создается при спокойном гидродинамическом режиме слабоподвижных вод в глубоководных впадинах. На Южном склоне Большого Кавказа месторождения Филизчайского типа формировались в локальных впадинах (Курбанов, 1982 и др.), но в результате осаждения рудного вещества из рудных рассолов, источником которых являлись неглубоко залегающие магматические очаги. В рудном районе глинистые сланцы четко выделяются высокими содержаниями элементов. Дайковые породы основного состава, которые часто находятся в зоне гидротермального воздействия, также характеризуются высокими концентрациями элементов. Это отмечено также в работах М.А.Кашкая и др. (1979). Однако высокие значения содержаний рудных элементов во вмещающих породах – явно результат постмагматических процессов. Территория рудного района в той или иной степени подвержена постмагматическому обогащению рудными элементами. Только в одних случаях это носит скрытый характер, когда осадочные породы выделя-

ются лишь повышенными содержаниями рудных элементов, в других случаях – образованием рудной минерализации или промышленных залежей. Все сказанное подтверждает результаты предыдущих исследователей о гидротермальном пути привноса рудных комплексов из магматических очагов, использующих зоны разломов как пути продвижения гидротерм, и о том, что осадочные породы не могли быть источником рудных месторождений. Проведенные нами (Мустафаев и др.,1984) минералого-геохимические исследования по вмещающим месторождения осадочным породам Южного склона Большого Кавказа подтверждают выводы о том, что повышенные концентрации рудных элементов в Балакен-Загатальском рудном районе, насыщенном месторождениями и рудопроявлениями, зонами минерализации и магматическими образованиями, являются ничем иным как местным, локальным повышенным фоном.

Магматические породы как источники рудного вещества. Исследователями Южного склона Большого Кавказа отмечалось, что парагенетическая связь медно-пирротинового оруденения с магматизмом региона более достоверна, тогда как связь колчеданно-полиметаллического оруденения с магматизмом менее определенна, тем не менее, она предполагается. Действительно, месторождения медно-пирротиновой формации, в отличие от колчеданно-полиметаллических, тесно ассоциируют с магматическими телами, которые несут определенные признаки геохимической специализации. Возможно, близостью магматических тел в Кацдагском месторождении объясняются температуры кристаллизации кварца и халькопирит-сфалеритового агрегата в 340-165 и 270-235 градусов соответственно (по данным гомогенизации и декрепитации, Велизаде,1981) что значительно выше, чем в Филизчайском месторождении, где температуры составляют 150-120 градусов по кварцам и 130-65 градусов по рудам (Твалчрелидзе,1987), что может быть объяснено удаленностью месторождения от магматических тел (или очагов).

Исследования магматических пород Южного склона Большого Кавказа (как петролого-геохимические, так и геохронологические) позволяют их разделить на три группы: I – нижнеюрскую формацию натриевых базальтов (ранее называющуюся габбро-диабазовой, спилитовой и т.д.) II – среднеюрскую андезит-дацит-риолитовую и III – верхнеюрскую габбро-диорит-плагиогранитовую. Содержания рудообразующих элементов (Cu, Zn, Pb, Co) распределены по формациям и типам пород следующим образом (табл.4). В нижнеюрских базальтах и их субвулканических фациях (в виде даек, силлов, штоков, пластовых интрузий-даек) лишь содержание цинка выше кларка в 1,5-2 раза, тогда как остальные элементы содержатся в близкларковых (но ниже кларка) количествах. Но в среднеюрских андезитах, дацитах, риодацитах и риолитах содержание всех рудообразующих элементов выше кларка в несколько раз. Так, в зависимости от типа пород кларк концентрации (КК) для меди составляет 5,2-6,2; для цинка – 4,1-4,8; свинца – 2,6-9,2, при этом в риолитах, как наиболее кислых, обогащенных калием породах, КК достигает максимума (КК=9,2), а КК кобальта, варьируя в пределах 2,4-1,3, понижается от андезитов к риолитам, оставаясь тем не менее выше кларка. В габбро-диорит-плагиогранитовой формации верхней юры распределение элементов в зависимости от типа пород также различается. Содержание свинца во всех типах пород ниже кларка (КК = 0,5-0,9). Содержание меди в габброидах в 1,5 раза выше, а в диоритах, кварцевых диоритах и плагиогранитах в 4-5 раз выше кларка (КК=4,8-5,4), в них же содержание цинка в 3-4 раза выше кларка (КК=3-4). Но содержание кобальта от габбро к кварцевым диоритам повышается от 48,5 г/т до 94,9 г/т, однако резко понижается в плагиогранитах до 3,5 г/т.

Таким образом, за исключением базальтов и долеритов нижней юры, все средне- и верхнеюрские эффузивы и интрузивные породы характеризуются вышекларковыми содержаниями Cu, Zn, Co, что можно принять как их металлогеническую (геохимическую) специализацию. Соответственно, можно утверждать, что источником рудного вещества колчеданно-полиметаллических и медно-пирротиновых месторождений были магматические очаги.

Таблица 4

Средние содержания (в числителе, в г/т) и коэффициенты концентрации (в знаменателе) элементов главных типов магматических пород Южного склона Большого Кавказа (по Керимову, 1991).

Формации	Породы	Cu	Zn	Pb	Co
Габбро-диорит- плагиогранитовая, Верхняя юра	плагиограниты	95,0 / 4,8	180 / 3,0	19,8 / 0,9	35,0 / 7,0
	кварц.диориты	190 / 5,4	227 / 3,2	8,2 / 0,5	94,9 / 4,7
	диориты	171,7 / 4,9	290,6 / 4,0	8,6 / 0,6	57,0 / 2,9
	габбро	104,9 / 1,4	110 / 0,8	6,1 / 0,7	48,5 / 1,1
Андезит-дацит-риолитовая, Средняя юра	риолиты	110 / 5,5	280,4 / 4,6	183,6 / 9,2	6,8 / 1,3
	риодациты	123,3 / 6,5	287,5 / 4,8	84,5 / 4,4	10,3 / 2,0
	дациты	107,5 / 5,3	248,7 / 4,1	52,8 / 2,6	10,8 / 2,1
	андезиты	181 / 5,2	340 / 4,7	45,7 / 3,0	24 / 2,4
Формация натриевых базальтов (габбро-диабазы, спилиты и др.) Нижняя юра	долериты	64,8 / 0,7	183,5 / 1,4	7,9 / 0,9	33,8 / 0,7
	Базальты	96,6 / 0,9	290 / 2,2	6,8 / 0,8	30,6 / 0,7

Многочисленные исследования изотопов серы колчеданных месторождений Южного склона Большого Кавказа (Гриненко и др., 1971; Заири, 1972 и др.) свидетельствуют о ювенильном источнике рудного вещества колчеданных месторождений региона. При этом установлена зональность в распределении типов месторождений (Курбанов, 1982), выраженная сменой медно-пирротинового оруденения в центральной, осевой зоне глубоководного трога, через медно-пирротиновое, смешанное с колчеданно-полиметаллическим, колчеданно-полиметаллическим, а на самой периферии жильным полиметаллическим оруденением, что свидетельствует об участии в рудообразовании кислых пород кристаллического фундамента или скорей прилегающей континентальной коры (Закавказской плиты).

О глубинных источниках рудного вещества и рудообразующей системе «мантия – руда». Говоря о глубинном источнике элементов рудных залежей, необходимо оговорится – о какой глубине идет речь. Необходимо обратить внимание на два момента. Первое. Магматические породы, обусловившие формирование рудных залежей, дифференцированы от базальтов до андезит-дацитов в эффузивной фации и от габбро до плагиогранитов – в интрузивной. Это дает возможность судить об относительной глубине зарождения магматических очагов – не ниже низов коры или верхов мантии, но на подкоровом уровне. Появление средних и кислых типов пород свидетельствует не только о смене геодинамического режима растяжения сжиманием с началом формирования островной дуги, но и о восходящем перемещении магма-

тических очагов и контаминации их в пределах континентальной коры с дальнейшей дифференциацией магмы. Второе. Об относительной глубине можно судить также по результатам изотопных анализов серы сульфидных минералов месторождений, свидетельствующих о том, что в формировании колчеданных месторождений определенное участие принимала сера водных бассейнов, т.е. гидротермальные растворы достигали настолько высоких уровней, что смешивались либо с близповерхностными вадозными, либо же донными морскими водами. В любом случае процесс рудообразования происходил при высоком коровом уровне дифференциации магматизма и соответственно отделения от них рудоносных рассолов. Однако минеральный и геохимический состав рудных залежей показывает, что на вещественный состав уже сформированных колчеданных месторождений влияли и другие источники, вероятно, из более глубоких зон мантии, возможно, уровня нижней мантии, которые не только воздействовали на состав месторождений, но и образовывали рудопроявления непосредственно, минуя этап магмаобразования, т.е. образуя напрямую систему рудообразования «мантия – руда». Об этом можно судить по месторождениям ртути, распределение которых связано не с проявлениями магматизма, а с тектонической обстановкой.

Анализ распространения ртутного оруденения как на Большом, так и Малом Кавказе и образование ртутными месторождениями ртутоносных поясов позволяет сделать вывод о том, что образование ртутных и, возможно, золоторудных месторождений, ассоциирующихся с ними, напрямую связано с мантийными эманациями (Мустафаев, Мустафаев, 2007). В пределах глубинных разломов, если даже не образуются ртутоносные пояса, ртутизация накладывает отпечаток на уже сформированные колчеданные месторождения, тесно приуроченые также к зонам глубинных разломов. На Южном склоне Большого Кавказа, в отличие от Северного Кавказа и центральной части Малого Кавказа, ртутный пояс не выделяется, но месторождения колчеданно-полиметаллических и медно-пирротиновых руд (Филизчайское, Катехское, Кизил-Деринское и др.) характеризуются повышенными содержаниями ртути (Черницын,1977), а восточнее, в пределах дагестанской части металлогенической зоны, уже имеются собственно ртутные месторождения (Хпек, Гапцах и др.), что свидетельствует об активизации нового глубинного источника в неогене после завершения формирования в мезозое месторождений колчеданного семейства. Кроме того, в продолжении Главнокавказской металлогенической зоны в пределах Дагестана установлено (Колчеданные месторождения…, 1973) рудопроявление кобальта (Цимирцы) и выделена самостоятельная халькопирит – кобальтовая субформация. Согласно Л.И.Когарко, кобальтовая минерализация – закономерный признак связи оруденения с мантийными зонами. Зональность в распределении месторождений колчеданного семейства, установленная на Южном склоне Большого Кавказа, по А.Д. Щеглову (1987), также является одним из критериев мантийного происхождения источников руд. Исходя из всего вышесказанного, можно сделать вывод о том, что сонахождение магматических и рудных тел является не генетическим, а парагенетическим, как производное различных стадий единого процесса. Вот эта парагенетичность связи оруденения с магматизмом может затушевывать последующие мантийные эманации, без формирования магматических очагов прорывающиеся в верхние горизонты по ослабленным тектоническим зонам, независимо от заполнения благоприятных пространств магматическими или рудными телами, соосаждая ртуть и часто золото, как спутник ртути, поскольку физико-химические свойства золота и ртути позволяют им совместно участвовать в формировании месторождений (Степанов, Берзон,1983), образуя комплексные руды. В случаях отсутствия магматических тел или рудных залежей элементы, привнесенные мантийными эманациями, могут осаждаться в карбонатных или органогенных породах, а также в тонких фракциях терригенных пород.

Рассматривая формирование месторождений на Южном склоне Большого Кавказа с этой точки зрения, можно допустить, что необязательно ожидать и искать руду только в связи с магматическими телами. Рудообразование может происходить также напрямую, вообще без проявления магматизма, в резуль-

тате эксгаляции мантийных флюидов в верхние горизонты. Наглядным примером этого процесса служат месторождения и рудопроявления ртути. Следует отметить, что в 1983 г. бывшим Министерством геологии СССР во все геологические организации была направлена «Информационная записка» о ревизии ртутных месторождений ввиду того, что в ряде регионов было установлена тесная ассоциация ртутных и золоторудных месторождений (Степанов, Берзон,1983). Отсюда можно заключить, что если ртутные месторождения образовались без проявления магматизма, напрямую образуя систему «мантия – руда», то золото также могло быть вынесено мантийными эманациями по разломам в самые верхние этажи земной коры. По данным различных исследователей, в зонах глубинных разломов могут формироваться этим путем также молибденовые и вольфрамовые оруденения (Щеглов,1987). А это уже значительное расширение поисковых площадей, перспективных на обнаружение рудных залежей, не характерных для региона. А главное – новый источник рудного вещества. Отметим, что ранее мантийные эманации назывались «трансмагматическими» по терминологии академика Д.С. Коржинского, теперь в моде «плюмы». Мы умышленно не апеллируем терминами «плюм» и др. ввиду того, что эти процессы на Кавказе еще недостаточно исследованы.

Заключение

Даже при хорошей изученности геологии региона и выявленных многочисленных рудных месторождений вопрос о его потенциале, т.е. выявлении новых рудных залежей, требует дополнительных исследований. Другими словами, парагенетическая (или генетическая) связь оруденения с магматизмом в рифтогенных зонах является достаточно достоверным поисковым признаком. Однако одновременно она служит определенной психологической преградой для поисков рудных тел вдоль региональных разломов при отсутствии выходов магматических пород. Отмечено (Щеглов, 1987), что в случае раздвига земной коры с образованием глубинных разломов последние имеют наибольшую протяженность, а рудные образования могут прослеживаться по всей длине их развития. Данное утверждение подтверждается также материалами по восточному Кавказу. Так, бывшим Управлением геологии при СМ Азерб. ССР в 1982 г. была издана карта геохимических аномалий Азерб. ССР в масштабе 1:500 000, в которой за пределами Балакен-Загатальского рудного района вдоль восточного продолжения региональных разломов отмечены аномалии в содержании свинца, цинка, меди, молибдена, кобальта коренных пород (Объяснительная записка…, 1982). В последние годы на восточном окончании металлогенической зоны Большого Кавказа Г.Велиевым установлены аномалии содержания вольфрама и ряда других элементов. Все приведенные данные свидетельствуют о том, что мантийные эманации охватывают значительную часть протяженных глубинных разломов и могут явиться источником рудного вещества месторождений ряда металлов (ртути, золота и др., включая такие литофильные элементы, как молибден, вольфрам и др.), которые могут быть выявлены в пределах глубинных разломов и без проявления магматических образований.

ЛИТЕРАТУРА

АЛИ-ЗАДЕ, Ак.А. (под ред.). 2005. Геология Азербайджана, т.VI – Полезные ископаемые. Nafta-Press. Баку. 95-116, 159-201.

АЛИ-ЗАДЕ, З.М., МУСТАФАЕВ, Г.Л. 1987. Геохимические особенности раннегеосинклинальных осадочных пород Восточного Кавказа. *Литология и полезные ископаемые,* 2, 113-121.

БУЛКИН, Г.А., МУСТАФАЕВ, Г.В. 1984. К методике количественного прогнозирования. *Геология рудных месторождений*, 5, 65-72.

ВЕЛИЗАДЕ, С.Ф. 1981. Минеральный состав и условия формирование руд Кацдагского колчеданно-полиметаллического месторождения Большого Кавказа. Автореф. канд.дисс. Москва.

ГЕОЛОГИЯ СССР, т.47 – Азербайджанская ССР. Полезные ископаемые. 1976. Недра. Москва. 407.

ГРИНЕНКО, Л.Н., ЗЛОТНИК-ХОТКЕВИЧ, А.Г., ЗАИРИ, Н.М. 1971. Изотопы серы Филизчайского колчеданно-полиметаллического месторождения на Кавказе. *Геология рудных месторождений*. 1, 13, 62-75.

ЗАИРИ, Н.М. 1972. Закономерности вариаций изотопного состава серы сульфидов и некоторые вопросы формирования колчеданных залежей Белокано-Закатальского рудного района Большого Кавказа. Автореф.канд.дисс. Москва.

КАШКАЙ, М.А., АЛИЕВ, А.А., ГАДЖИЕВ, С.М. и др. 1979. Геохимия и минералогия колчеданных

месторождений Южного склона Большого Кавказа. Элм. Баку.

КЕРИМОВ, Р.Б. 1991. Петрология и рудоносность магматических комплексов Белокано-Закатальского рудного района (Большой Кавказ). Автореф. канд. дисс. Баку.

КОЛЧЕДАННЫЕ месторождения Большого Кавказа. 1973. Недра. Москва. 255.

КОЛЧЕДАННЫЕ месторождения мира. 1979. Недра. Москва.

КУРБАНОВ, Н.К. 1982. Критерии поисков и принципы прогнозирования комбинированных колчеданно-полиметаллических месторождений в альпийской терригенной геосинклинали Большого Кавказа. *Тр.ЦНИГРИ*,168. 87-97.

МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВЫЕ ресурсы Азербайджана. 2005. Озан. Баку. 193-224, 291 – 340.

МУСТАФАЕВ Г.В., МУСТАФАЕВ М.А. 2007. Геодинамическая обстановка, магматизм и эндогенные рудные месторождения как взаимосвязанные элементы модели рудообразования (на примере мезозоя Азербайджана). *Тр. Ин-та геологии НАНА,* 35, 124-140.

МУСТАФАЕВ, Г.В. 2002. Основные черты металлогении Азербайджана. Nafta-Press. Баку. 232.

МУСТАФАЕВ, Г.В. 2005. Основные закономерности размещения и формирования месторождений металлических полезных ископаемых. В кн.: *Геология Азербайджана, т.VI – Полезные ископаемые*. Nafta-Press. Баку. 344-354.

МУСТАФАЕВ, Г.В., МУСТАФАЕВ, М.А., КЕРИМОВ, Р.Б., РАГИМОВ, Г.А. 1984. Изучение золотоносности черносланцевой толщи Южного склона Большого Кавказа. Рукопись НИР. Фонды Института геологии.

НОВРУЗОВ, Н.А. 2005. Редкие и рассеянные элементы. В кн.: *Геология Азербайджана, т.VI – Полезные ископаемые.* Nafta-Press. Баку. 335-343.

ОБЪЯСНИТЕЛЬНАЯ записка к карте геохимических аномалий Азербайджанской ССР масштаба 1:500.000. 1982. Баку, 71.

СМИРНОВ, В.И. 1976. В кн.: *Источники рудного вещества эндогенных месторождений*. Наука. Москва. 5-11.

СТЕПАНОВ, В.А., БЕРЗОН, Р.О. 1983. О связях золота и ртути в рудообразующих процессах. *Советская геология*, 1, 54-56.

ТВАЛЧРЕЛИДЗЕ, А.Г. 1987. Геохимические условия образования колчеданных месторождений. Недра. Москва. 188.

ЧЕРНИЦЫН, В.Б. 1977. Металлогения Большого Кавказа. Недра. Москва. 191.

ЩЕГЛОВ, А.Д. 1987. Основные проблемы современной металлогении. Недра. Ленинград. 231.

© А.Д.Исмаил-Заде, Е.Н.Емельянова, З.А.Велиев, Е.Н.Лятифова, 2008

ПРОБЛЕМЫ МЕТАЛЛОГЕНИИ СЕВАН-АКЕРИНСКОЙ ЗОНЫ МАЛОГО КАВКАЗА

А.Д.Исмаил-Заде, Е.Н.Емельянова, З.А.Велиев, Е.Н.Лятифова

Институт геологии НАН Азербайджана
AZ1143, просп. Г.Джавида, 29А

Рассматривается взаимосвязь металлогении с магматическими комплексами в Севан-Акеринской зоне. Рудные формации зоны – хромитовая, ртутная, полиметаллическая и золоторудная – по вещественному составу и геолого-структурным особенностям обнаруживают различные связи с вмещающими комплексами: хромитовая входит в состав аллохтонной пластины; ртутная пространственно совмещена со всеми комплексами; полиметаллическая находится в гидротермально-измененных зонах и золоторудная парагенетически связана с гранитоидным магматизмом. Приводятся примеры одно- или двухуровневых форм проявлений рудных формаций.

Впервые отмечается существенная роль аллохтонной «офиолитовой» пластины в процессе формирования золоторудной формации. Подчеркивается принадлежность медно-колчеданно-полиметаллических проявлений единой региональной рудно-магматической системе Лок-Гафанской зоны.

Севан-Акеринская структурно-формационная зона располагается в центральной части Малого Кавказа с обрамляющими структурами Лок-Гарабагской и Гафанской зон. Последние характеризуются сходными магматизмом и металлогенией, выраженными юрско-меловым вулканогенным и вулканогенно-осадочными комплексами со средне- и позднеюрскими интрузивами диорит-гранодиорит-плагиогранитового состава и золоторудными медно-колчеданными, медно-порфировыми и колчеданно-полиметаллическими месторождениями. Вследствие их схожести, нередко в литературе отмечается единая Лок-Гафанская структурная зона.

В строении Севан-Акеринской зоны, характеризующейся наличием пород офиолитовой ассоциации, выделяются три комплекса: а в т о х т о н н ы й − вулканогенный комплекс юры, флишоидная толща альба, олистостромовый комплекс сеномана; а л л о х т о н н ы й – гипербазиты, габброиды и эффузивно-радиоляритовая толща; н е о а в т о х т о н н ы й – преимущественно осадочный и менее вулканогенный коньяк-сантона, карбонатный кампан-маастрихта (Соколов, 1977; Книппер, Соколов, 1974 и др.). Для зоны характерны проявления хромитовой минерализации, ртутные и золоторудные промышленного типа месторождения.

Офиолитовый пояс в составе Севан-Акеринской зоны при общей длине более 250 км и ширине 10-25 км протягивается непрерывной полосой от северного побережья оз. Севан на юго-восток до левобережья р.Араз. Северо-западнее оз.Севан на территории Армении данный пояс в районе с.Шоржа погружается под палеогеновые вулканогенно-осадочные отложения и вновь выступает в виде изолированных массивов в районе с.Амасия, переходя затем в Турцию. Данная зона на севере по Мровдагскому и Гарабагскому надвигам граничит с Лок-Гарабагской зоной, а южная граница устанавливается по Лачин-Башлыбельскому разлому, отграничивающему его от Гафанской зоны (Шихалибейли, 1966).

В ходе многолетних работ по исследованию металлогенической специализации зоны на хромиты, ртуть, золото и другие полезные ископаемые (рис. 1) установлено неоднозначное родство их с комплексами данной структуры. К металлам, опосредственно или непосредственно связанным с офиолитовой ассоциацией, относятся в основном Cr, Co, Ni, Pt, а к металлам, имеющим пространственные взаимоотношения с офиолитовым комплексом, – Hg, Sb, As. Весьма оригинальна роль золотого оруденения, представленного в виде золото-теллуридного и золото-ртутного месторождений, в связи с разновозрастным кислым магматизмом (Кашкай и др., 1967; Бабазаде, 1974).

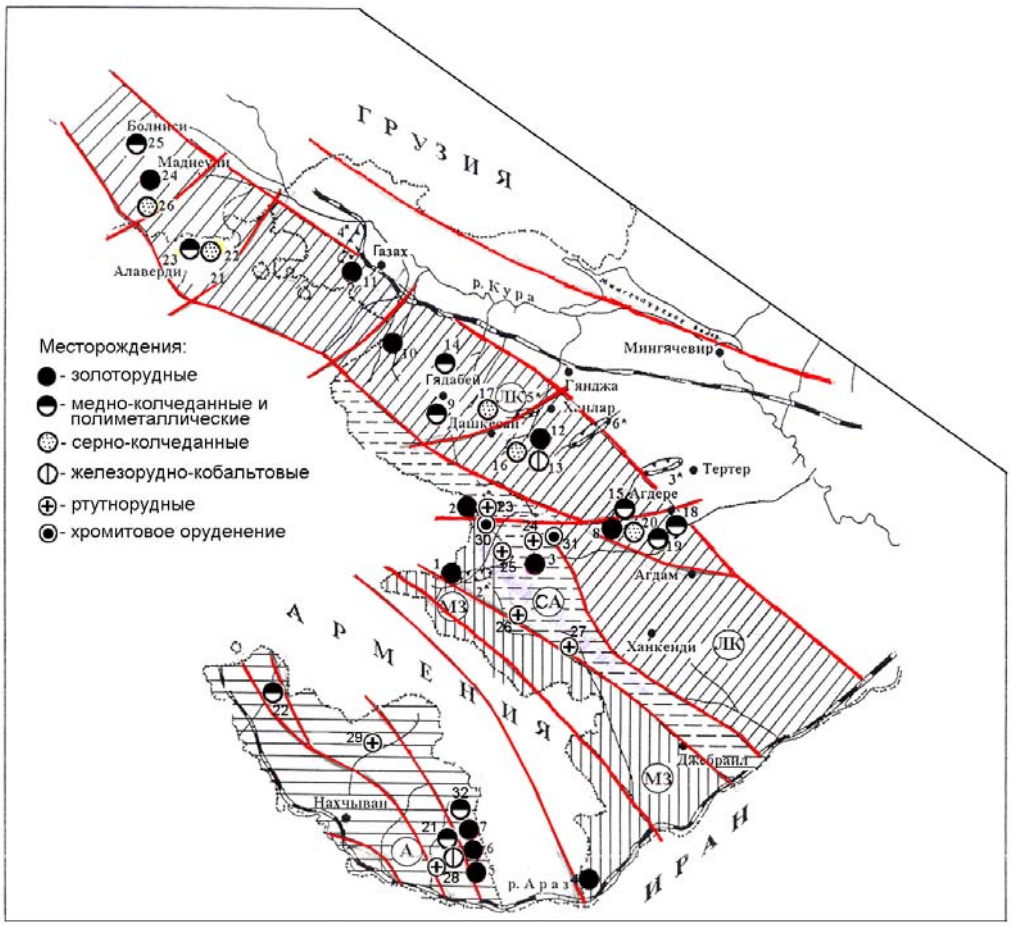


Рис. 1. Размещение рудных месторождений и проявлений на Малом Кавказе (Азербайджан)

Золоторудные:
1 – Агдуздаг, 2 – Зод-Соютлу, 3 – Тутхун, 4 – Вежнали, 5 – Пьязбаши, 6 – Шекердере, 7 – Агюрт, 10 – Гоша, 11 – Дагкесеман, 12 – Човдар;
Медно-колчеданные и полиметаллические:
9 – Гядабей, 14 – Гарадаг, 15 – Агдере, 18 – Мехмана, 19 – Гюльятаг, 21 – Агдере (Нхч.), 22- Гюмушлуг, 32 – Мисдаг;
Серно-колчеданные:
16 – Тоганалы, 17 – Чирагдара, 20 – Ванклу;
Железорудно-кобальтовые:
13 – Дашкесан;
Ртутно-сурьмяно-мышьяковые:
23 – Левчай, 24 – Шорбулаг, 25 – Агятаг, 26 – Калафалик, 27 – Лачин, 28 – Дарридаг, 29 – Парадашт;
Хромитовые:
30 – Левчай, 31 – Гейдара.

Вышеуказанная металлогеническая особенность Севан-Акеринской зоны выдвигает весьма существенный вопрос: в чем же заключается металлогения собственно Севан-Акеринской зоны с учетом времени ее заложения, магматизма и участия в геодинамике Малого Кавказа?

Геологическое строение Севан-Акеринской зоны является объектом длительных дискуссий о соотношениях составляющих ее комплексов, однако существует ряд непреложных аспектов геологического характера, принимаемых всеми исследователями:

- наличие в строении зоны разногенетичных и разновозрастных комплексов, соответствующих различным геодинамическим условиям формирования: офиолитовых – спрединговым, океаническим; юрских вулка-

ногенных и вулканогенно-осадочных – коллизионным, гипабиссальным проявлениям островодужного магматизма; меловых осадочных и карбонатных – неглубоководным бассейнам; олистостромовых и меланжевых – тектонизированным зонам;

- вытянутость всех комплексов в северо-западном направлении с четко выраженной линзовидностью тел, подчеркивающей связь с разрывными структурами зоны и общую подверженность всех комплексов (не только гипербазитовых) сильной сдавленности и рассланцеванности северо-западной ориентировки.

Приведенные данные свидетельствуют о высокой интенсивности и длительности проявления тектонических процессов на протяжении всего периода формирования структурной зоны, подчинившие общему структурному плану не только формирующиеся комплексы, но и аллохтонные фрагменты океанической коры, т.е. устанавливается сильная тектоническая переработанность всех доверхнесенонских образований Севан-Акеринской зоны в отличие от соседних зон.

Автохтонный комплекс этой зоны представлен базальт-андезит-риолит-плагиогранитовой (байос) и базальт-андезит-дацитовой (бат) формациями, характерными для Лок-Гарабагской и Гафанской зон. Отложения данных комплексов отмечаются лишь в обрамлениях Севан-Акеринской зоны, а верхняя часть автохтона, представленная отложениями поздней юры-неокома, установлена фрагментарно внутри зоны. Наряду с тектоническими контактами между ними отмечаются также постепенные переходы неокома во флишоидную толщу альб-сеномана.

Суммируя вышеизложенное, можно констатировать, что составляющие современную структуру Севан-Акеринской зоны различные комплексы, формировавшиеся в различных условиях, подвергались разновозрастным дислокациям. Ведущим, однако, был процесс поперечного сжатия, обусловивший образование разновозрастных тектонических пластин и покровов.

Тектоническая позиция Севан-Акеринской зоны в системе Малого Кавказа исследователями последних десятилетий (Кашкай, 1976; Аллахвердиев, 1983; Рустамов, 2001; Г.Мустафаев, 2002; М.Мустафаев, 2007 и др.) считается соответствующей рифтогенной зоне, являющейся юго-западным продолжением Измир-Эрзинджанского пояса. При этом комплексы офиолитовой ассоциации, по данным этих авторов, являются протрузивно-выжатыми и представляют собой «параавтохтон», а вся Севан-Акеринская зона принимается ими за главную сутурную зону региона. Подобная интерпретация, на наш взгляд, является не вполне удовлетворительной, т.к. среднеюрские вулканогенные комплексы – автохтон Севан-Акеринской зоны, аналогичны таковым и соседних ее обрамлений с юга и севера, т.е. структуры Лок-Гарабагская, Севан-Акеринская и Гафанская на протяжении всей средней юры представляли собой единую Лок-Гафанскую зону, расчлененную на продольные северо-западные зоны лишь в раннем мелу.

Позиция исследователей (Книппер, 1971; Ломизе, 1970; Зоненшайн и др., 1987; Гасанов, 1985 и др.) относительно соответствия офиолитовых комплексов Севан-Акеринской зоны и Вединского пояса (Армения) пластинам, совместно выжатым в сеноман-коньякском периоде из Мисхана-Зангезурской зоны, является также малоубедительной, т.к. трудно представить проявление мощных разнонаправленных напряжений сжатия, за короткий период способствовавших одновременному перемещению на расстояния более 40 км офиолитовых пластин из сутурной зоны на север – в Севан-Акеринскую зону и на юг – в Вединскую.

Наиболее приемлемой представляется нам позиция, согласно которой офиолитовые комплексы Севан-Акеринской зоны с учетом соотношений олистостромового комплекса (сеноман) и времени перекрытия их офиолитовыми комплексами (поздний сеноман-ранний коньяк) являются аллохтонными пластинами, выжатыми в процессе Австрийской фазы тектогенеза (K_1-K_2) из-под надвинутого мезозойского вулканогенного комплекса Лок-Гарабагской зоны с севера на юг с корневой зоной в пределах Куринской впадины (по С.Д.Соколову, 1977 – из-под Лок-Гарабагской зоны). Наличие офиолитового комплекса под мезозойскими вулканогенными образованиями нами объясняется с позиции обдукции океанической коры при замыкании океанического бассейна Палеотетиса (пермь-триас) на

континентальную кору Закавказского микроконтинента с последующим перекрытием ее мощным мезозойским вулканогенным комплексом (Исмаил-Заде, 2004, 2006).

Ниже приводится краткая геолого-геоморфологическая характеристика хромитового, ртутного и золоторудного оруденений Севан-Акеринской зоны.

Хромитовое оруденение. Повсеместное наличие в структурах складчатых систем хромитовых, никелевых и платиновых минерализаций в ультрабазитовых комплексах офиолитовых ассоциаций характеризует металлогеническую специализацию содержащего их расплава как мантийной производной. Проявления хромитов в исследуемой зоне достигают значений крупных рудопроявлений или мелких непромышленного типа месторождений, приуроченных в основном к определенным фациальным типам – дунитам и менее к пироксеновым перидотитам. В исследуемом регионе установлено около 40 месторождений и проявлений хромитовых руд, среди которых наиболее крупные – Гейдаринское, Кязимбинское, Заидаринское, Хотованское и группа Ипякских. Дуниты встречаются в виде локальных линзообразных тел среди перидотитов длиной от 50-100 до 300-400 м при мощности от 1 до 20-30 м. Пироксеновые перидотиты развиты преимущественно на северо-западе зоны в пределах Шахдагского хребта.

Хромитовые рудопроявления исследователями подразделены на сегрегационные, гистеромагматические и россыпные генетические типы (Баба-заде, Малютин, 1967; Сулейманов, Баба-заде, 1967 и др.).

Сегрегационные, наиболее ранние рудопроявления представлены массивными и вкрапленными рудами, приуроченным к дунитовым массивам. Для них характерны шлировые формы выделений, различные густота вкрапленности и величины рудных тел. Границы рудных выделений с вмещающими дунитами нерезкие. Рудопроявления этого типа − Гейдаринское, Хотованское, Джомардское и др.

Гистеромагматические, более поздние рудные тела, приуроченные к дунитам и гарцбургитам, представлены отдельными гнездами массивной, нодулярной и вкрапленной текстур. К ним относятся рудопроявления – Ахардаринское, Левчайское, Нижнехалифалинское и др. Границы с вмещающими породами очень резкие и ровные.

К *россыпным* рудопроявлениям коры выветривания относятся Красногорское, Багиндаринское, Чаректарское и др.

По текстурно-структурным особенностям среди хромитовых руд с учетом соотношения рудных и силикатных минералов, формы их выделений установлены массивные, вкрапленные и нодулярные типы.

Несмотря на выявленную связь хромитовых руд с петрографическим составом вмещающих комплексов, в то же время отмечается, что "...какой-либо закономерности в пространственном расположении гнездообразных рудных тел и полей развития гарцбургитов установить не удается" (Малютин, 1967).

Минералогически в составе хромитовых руд наблюдается преимущественное развитие хромшпинелидов, а в подчиненном количестве отмечаются кеммеририт, хромдиопсид, уваровит, пентландит, миллерит, артинит, брусит, хлорит, тальк, самородная медь, гарниерит и магнезит, а в редких случаях – зерна платины. Хромдиопсид, кеммererит и уваровит присутствуют исключительно в хромитовых рудах и отсутствуют во вмещающих породах. Для руд с хромдиопсидом и кеммereритом характерны высокохромистые хромшпинелиды, а для руд с уваровитом – низкохромистые (Малютин,1967). Пересчет химического состава хромшпинелидов показал их соответствие алюмохромитам, субферриалюмохромитам и хромитам.

Проведенные исследования позволили установить зависимость состава хромшпинелидов от петрохимического состава вмещающих комплексов, выражающуюся в следующем (табл.):

- высокохромистые и низкоалюминиевые хромшпинелиды развиты среди дунитов шлировых обособлений с Al_2O_3/Cr_2O_3= =0.23-0.28 и MgO/FeO=0.78-1.04;

- менее высокохромистые и умеренно-алюминиевые хромшпинелиды составляют сегрегационные типы среди дунитов самостоятельных массивов с Al_2O_3/Cr_2O_3=0.32-0.36 и MgO/FeO=0.81-0.95;

- низкохромистые и высокоалюминиевые хромшпинелиды в гарцбургитах с Al_2O_3/Cr_2O_3=0.47-0.5 и MgO/FeO=0.68-0.7.

Полученные данные подтверждают существующие взгляды о влиянии химического состава ультрабазитов на состав кристаллизирующихся в них хромшпинелидов (Баба-заде и др., 1967; Павлов и др., 1968). Наблюдаемые колебания в содержании хрома и взаимосвязи с текстурными особенностями руд связаны с эволюционным преобразованием магматического расплава в процессе формирования ультраосновных массивов с учетом унаследованности хромшпинелидами основных черт химизма расплава.

Для исследуемой офиолитовой ассоциации характерны также никеленосность и платиноносность. Присутствие никеля установлено в следующих формах: изоморфной примеси в оливинах, высвобожденной при процессах мантийной серпентинизации; в форме окислов в серпентинитовых минералах; значительно меньше в виде сульфидных минералов – пентландита и миллерита, рассеянных в дунитах; силикатного минерала гарниерита в зоне гипергенеза. Промышленные концентрации не обнаружены.

Платина установлена в дунитах шлировых обособлений и связанных с ними хромитовых рудах. В массивных хромитовых рудах Гейдаринского месторождения отмечены мелкие единичные зерна платины.

Проведенные исследования по структурно-текстурным особенностям и составам хромшпинелидов, выявление взаимосвязи с вмещающими породами позволили установить формирование хромшпинелидов в процессе кристаллизации ультраосновного магматического расплава в мантийных условиях. Образование хромитового оруденения в условиях рифтогенеза происходило в две стадии. На ранней стадии в процессе обеднения легкоплавкими компонентами (деплетирование) мантийного вещества образуется тугоплавкий остаток – дуниты, обогащенные хромом, соответствующие сегрегационному типу рудных тел с массивными и вкрапленными текстурами. На поздней стадии при продвижении вязкопластичного вещества в верхние уровни в дунитах и гарцбургитах образуется гистеромагматический тип рудных тел с густовкрапленными, нодулярными и гнездами массивных текстур. Таким образом, выявленные генетические типы хромитовых руд и стадийность проявлений отражают их соответствие мантийным условиям рифтогенеза, имевшим место в зоне генерации древней океанический коры. Последующая геодинамика региона способствовала ее перемещению в составе аллохтонных пластин в окружающие складчатые структуры. В этом аспекте наличие небольших по масштабам проявлений хромитовых руд объясняется соответствием их верхним уровням аллохтонной пластины, а нижние, более богатые рудами, были растасканы или ″задержались″ в соседних структурах по мере продвижения пластины с севера на юг.

Р т у т н о р у д н о е о р у д е н е н и е. Ртутные и ртутьсодержащие месторождения Малого Кавказа сгруппированы в пределах Севан-Акеринской зоны с характерным поясовым размещением (Кашкай, Насибов, 1965; Сулейманов, Баба-Заде, 1974), известным как ртутный пояс Малого Кавказа.

Размещение ртутных месторождений в пределах зоны контролируется продольными северо-западными разломами, трассирующими линзовидно-вытянутые гипербазитовые тела. Типизация рудных объектов по локализации ртути в различных литологических комплексах позволила сгруппировать их в пять типов локализаций (рис.2): лиственитовый, джаспероидный, карбонатный, локализованный в брекчиях и трещинный. Среди них наиболее благоприятными типами концентрации ртути до промышленных масштабов – лиственитовый и джаспероиды.

Лиственитовый тип, являющийся типичным для офиолитового комплекса, насчитывает свыше 50 месторождений и рудопроявлений, составляющих Агятагское рудное поле. Рудоносные лиственитовые нередко имеют протяженность до 1-2 км при мощности от нескольких десятков до 100-200 м и более. Они характеризуются кварц-карбонатными и тальк-карбонатными разностями с ртутным оруденением, представленным преимущественно киноварью. Повышенное количество ртути в лиственитовых телах приурочивается к участкам со следами повышенных тектонических воздействий, что является главным фактором, указывающим на важность постлиственитовых тектонических процессов в концентрации ртутного оруденения. Все это свидетельствует о пространственной связи ртутной минерализации с ореолами метасоматически измененных пород и тектонически расслабленных зон.

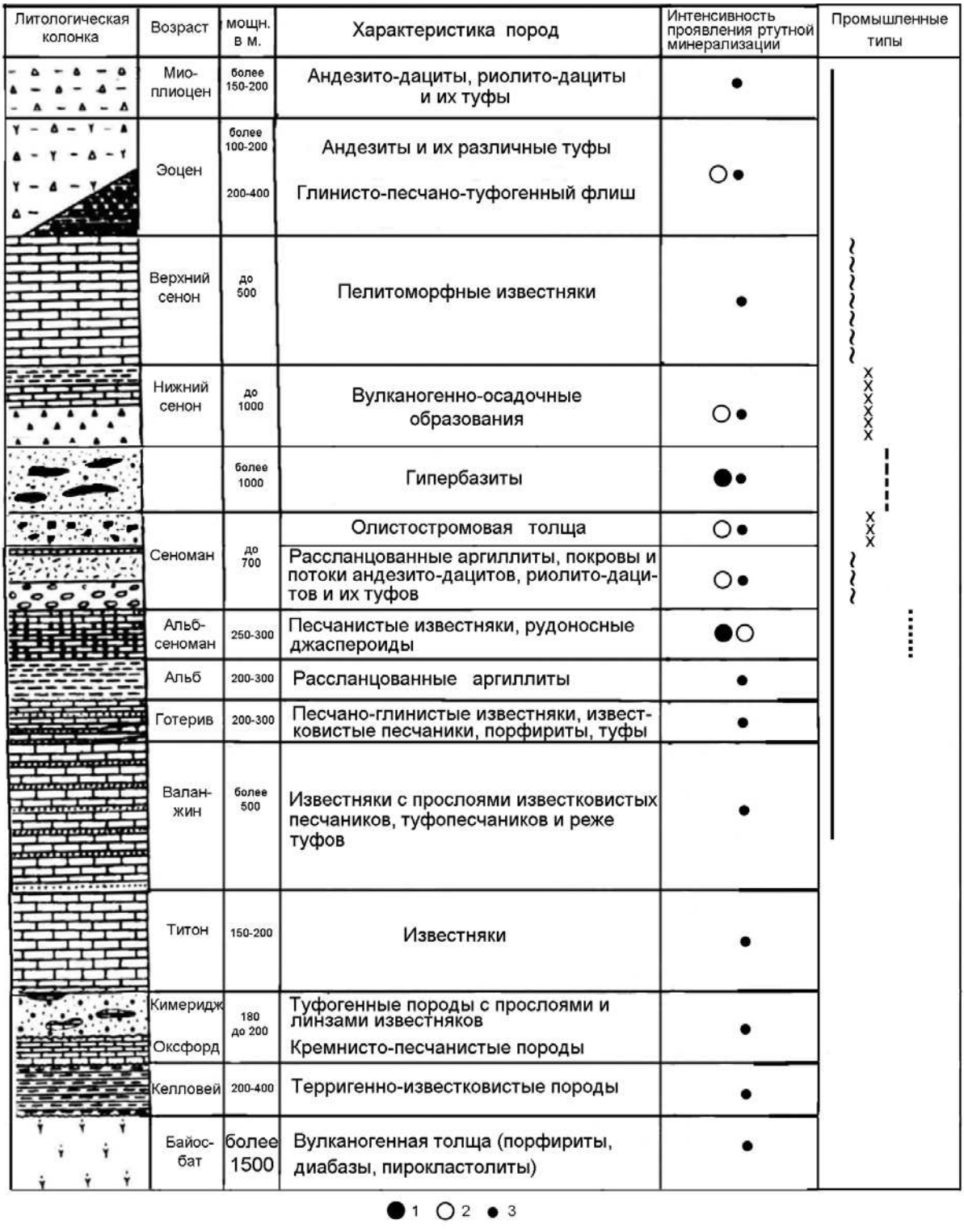


Рис. 2. Характер распределения сурьмяно-ртутного оруденения в стратиграфическом разрезе мезо-кайнозойских отложений центральной части Севан-Акеринской зоны.

1 – месторождения, 2 - рудопроявления, 3 – слабоминерализованные участки;
Промышленные типы руд: - - - - - - лиственитовый, **……** джаспероидный,
~~~~ карбонатный, xxxxx брекчированный, ——— трещинный.
~~~~

Джаспероидный тип минерализации характеризует месторождения (Левчайское, Чанлыбельское и др.), тесно связанные с окварцеванными известняками, подвергнутыми последующим тектоническим воздействиям. Минерализация на поверхности имеет ртутный состав, а на глубине появляется антимонит, нередко образующий значительную концентрацию. Наряду с ртутными, отмечаются сурьмяно-ртутные проявления и массивные сурьмяные руды.

Джаспероидного типа известняки с ртутной минерализацией занимают нижнее стратиграфическое положение в разрезе нижнемеловых отложений мощностью 70-100 м. Залегающая выше мощная толща песчано-глинистых известняков альб-сеномана и среднекислых вулканитов коньяк-сантона лишена данной минерализации, что, очевидно, обусловлено их экранирующей ролью в рудогенезе, создающей непроницаемые барьеры, под которыми происходят разгрузки рудоносных гидротерм.

Карбонатный тип концентрации ртутной минерализации приурочен к массивным раскристаллизованным известнякам, слагающим низы карбонатного разреза позднего сенона (Нарзанлы, Арзу). Основным ртутным минералом является киноварь, реже отмечается вкрапленность реальгара. Морфологически ртутная минерализация представлена линзами, жилами или столбообразными и сложными рудными образованиями, контролируемыми узлами взаимопересекающихся разрывов.

Локализованный в брекчиях тип месторождений – тектонически брекчированные участки крупных комплексов, состоящих из слоистых кремнистых и известково-кремнистых известняков, включающих пакеты и прослои яшмоподобных кремнистых пород. При тектонических подвижках в них создаются промежутки, выполненные киноварью и ассоциирующей минерализацией (Агятагское, Атдашинское, Излибулагское и др.).

Трещинного типа рудопроявления приурочены к мелким разрывным нарушениям или к различно ориентированным зонам трещиноватости (Левчайское рудное поле). Плотность распространения оруденения зависит от интенсивности площадной трещиноватости, дробленности пород и выдержанности разрывного нарушения. Оруденение – прожилково-вкрапленное с налетом и примазками киновари. Эти рудопроявления, расположенные в центральной части Левчайского джаспероидного типа месторождения, отличаются от месторождений лиственитового типа, хотя на локальных участках процесс гидротермального изменения дробленных пород завершается образованием слабоминерализованных лиственитоподобных кварц-карбонатных разностей.

Анализ проведенных исследований по типам сурьмяно-ртутных и ртутных месторождений и рудопроявлений на Малом Кавказе и выявленная закономерность в поясовом распределении позволили установить их широкую приуроченность в пределах Севан-Акеринской зоны как к породам офиолитового комплекса, так и к вмещающим породам – от раннего мела до позднего плиоцена. Это обстоятельство способствовало признанию пространственной связи оруденения с офиолитами и породами данной зоны.

Вышеизложенное и, в частности, связь ртутного оруденения Севан-Акеринской зоны с глубинными разломами, контролирующими размещение гипербазитовых тел, приуроченность их ко всем комплексам исследуемой зоны, следует считать главной причиной вертикального и площадного распространения ртутного оруденения, возможно, связанного с нижнеплиоценовой тектоно-магматической активизацией, характерной для этой зоны, т.е. подтверждается принятая в литературе ювенильно-магматическая точка зрения о генезисе ртутного оруденения.

З о л о т о р у д н о е о р у д е н е н и е. В пределах исследуемой зоны выделяются три золоторудных поля: Зод-Соютлинское, Тутхунское и Агдуздагское, среди которых наиболее значительным является Зод-Соютлинское месторождение (рис.3). Все три рудных поля пространственно приурочены к центральной части офиолитового пояса (бассейны рр. Тертер и Тутхун), а Зод-Соютлу и Агдуздагское располагаются в пределах Мровдаг-Зодского поперечного поднятия (Шихалибейли, 1967).

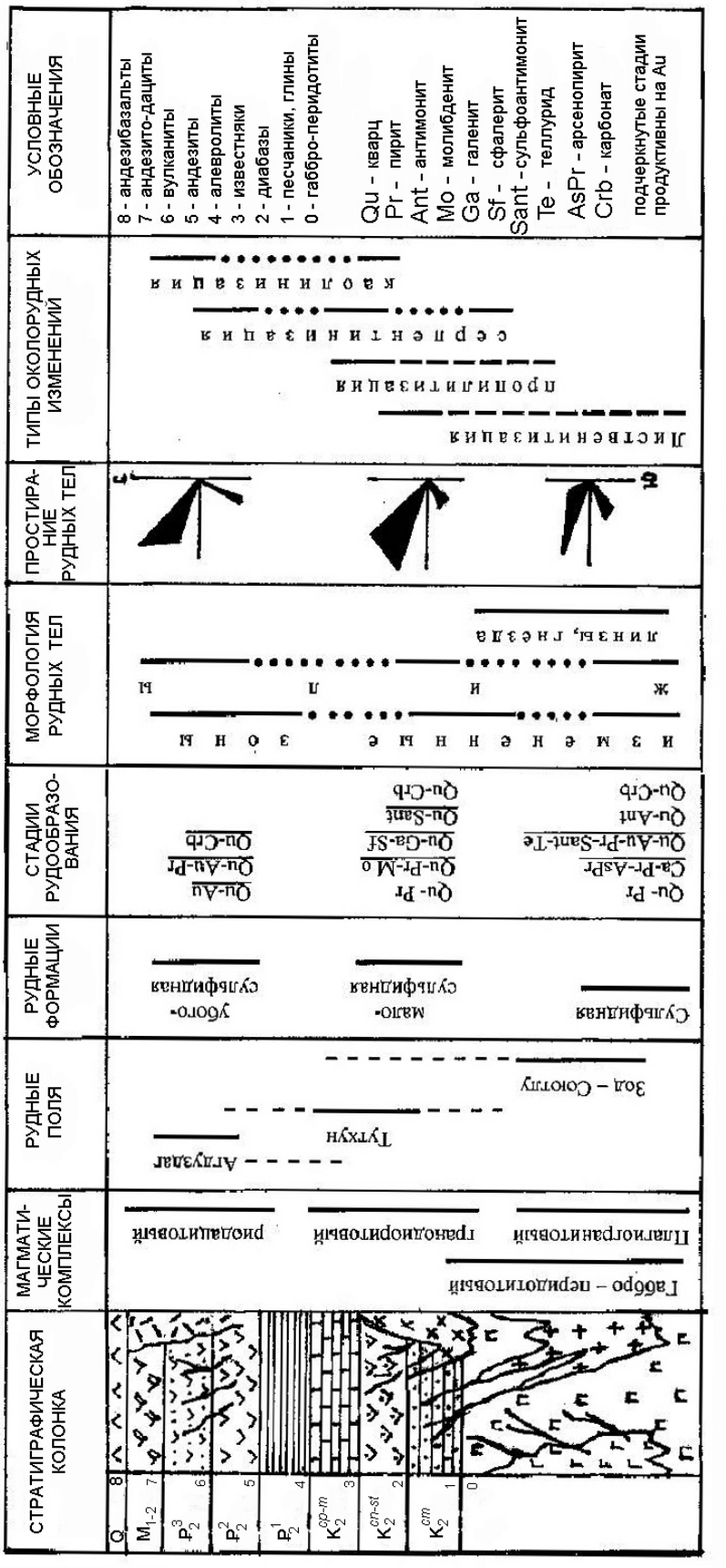


Рис. 3. Рудные поля Зод-Союглинского, Тутхунского и Агдуздагского золоторудных месторождений и проявлений

Рудоконтролирующей системой, способствовавшей формированию золоторудных полей, служили глубинные северо-западные разломы, стадийно оживленные в процессе альпийской тектоно-магматической активизации. К ним приурочены гидротермально-измененные зоны и образования типа лиственитов с соответствующей золотосодержащей минеральной ассоциацией и более поздним золото-теллурическим оруденением. Благоприятными для локализации руд послужили участки дробления и метасоматического преобразования пород: апикали габброидных интрузивов, узлы пересечений разломов, а также метасоматиты типа лиственитов и вторичных кварцитов (Сулейманов, 1982).

Минеральные ассоциации данных месторождений и рудопроявлений свидетельствуют о близповерхностном происхождении. Минеральный состав золоторудных месторождений и проявлений зоны разнообразен. Однако распространение большинства минералов в составах минеральных ассоциаций обнаруживает сквозной характер. Для данных рудных полей характерны следующие золоторудные формации: Зод-Соютлинского – сульфидная, золото-серебро-пирит-халькопиритовая и золото-ртутная (киноварь, антимонит); Тутхунского – малосульфидная, золото-пирит-галенит-сфалеритовая; Агдуздагского – убогосульфидная, золото-теллуридная и золото-кварцевая. Сквозными минералами в них являются галенит, сфалерит, пирит, халькопирит. Из жильных минералов отмечаются кварц, карбонаты, алунит, барит.

Состав минеральных ассоциаций служит определяющим фактором для установления глубинности формирования золоторудных полей. Для Агдуздагского убогосульфидного типа руд характерны малоглубинная золото-теллуритовая, золото-серебряная, золото-ртутно-сурьмяная ассоциации; для Тутхунского среднеглубинного типа – наличие в околорудной зоне турмалина, андалузита и мусковита. В целом в пределах всех трех зон устанавливается низкотемпературный характер околорудных изменений – лиственитизация, серицитизация, аргиллитизация, пропилитизация и окварцевание.

Контроль оруденения в пределах зоны осуществляется тектоно-магматической активизацией региона, сопровождаемой внедрением крупных гранитоидных интрузивов эоцен-олигоцена (Газыханлы, Агзыбир, Гызылитан) и мелких субвулканических тел – риодацитов миоцен-плиоцена (Агзыбир). Подобная стадийность проявления золоторудного оруденения в связи с магматизмом, тектоникой и с учетом соответствия Агдуздагского, Тутхунского и Зод-Соютлинского рудных полей верхним структурным этажам региона позволяет предположить их связь с залегающим на глубине рудосодержащим телом с последующей регенерацией рудных элементов в периоды активизаций. Очевидно, здесь существенна роль предполагаемой нами (Исмаил-Заде, 1992) под мезозойским комплексом на доальпийском кристаллическом фундаменте аллохтонной гипербазитовой пластины.

Возможно, в глубокозалегающем базит-гипербазитовом комплексе (палеозойская аллохтонная пластина) в процессе ранней серпентинизации произошло высвобождение золота из главных минеральных фаз гипербазитов – оливина и ортопироксена, а на последующих стадиях тектоно-магматических активизаций при воздействии флюидов гранитоидных и габброидных магм на стадийно-преобразованные гипербазитовые комплексы происходили переаккумуляция и локализация золота на участках, наиболее подверженных контактовому метаморфизму, околотрещинному локальному метасоматизму, и в брекчированные зоны с кварц-карбонат-сульфидной минерализацией.

Необходимо отметить, что золотоносная рудно-магматическая система на каждой стадии тектоно-магматической активизации контролировалась глубиной заложения промежуточного очага магмогенерации, сыгравшей существенную роль в формировании рудопроявлений зоны. Последнее, укладывающееся в параметры малоглубинных формаций, было, очевидно, различным – наименьшее для золоторудных проявлений, связанных с субвулканическими телами (Агдуздаг), и среднеглубинное для рудопроявлений, относимых к деятельности гранитоидных интрузивов (Газыханлы, Гызылитан). Наличие в зоне существенного золоторудного месторождения, вероятно, обусловлено приуроченностью его к крупному поперечному поднятию, усилившему структурный контроль формирования и эрозионный размыв по всей зоне в связи с воздыманием на юго-восток.

Вышеприведенное позволяет предположить, что золоторудное оруденение в Севан-Акеринской зоне является результатом парагенетического взаимодействия тектонических, магматических (флюидо-динамических), автометаморфических и метасоматических процессов.

Проведенные исследования позволили установить сложный характер магматизма и металлогении Севан-Акеринской зоны, отвечающий по набору литогеодинамических комплексов и рудных элементов различным геодинамическим условиям формирования. При этом если образование хромитов увязывается с мантийной дифференциацией ультрабазитового вещества в процессе его высокотемпературного вязкопластичного перемещения в верхние структуры земной коры, а месторождения ртути являются низкотемпературными телетермальными образованиями поздних стадий магматизма всей складчатой системы Кавказа, то золоторудные месторождения парагенетически связаны с этапностью формирования офиолитов.

Таким образом, в пределах Севан-Акеринской зоны наблюдается совмещение полихронного и полигенного магматизма и металлогении, соответствующих тектоно-магматическим процессам со свойственными им рудно-магматическими системами, имевшими место на протяжении многоэтапной истории формирования складчатых структур Малого Кавказа.

Резюмируя вышеизложенное, можно констатировать, что хромитовое (палеозойское) и ртутное (плиоценовое) оруденения являются пространственно совмещенными с мезозойским (поздняя юра-мел) комплексом этой зоны, а золоторудное оруденение имеет парагенетическую связь с магматизмом этой зоны.

Очевидно, ответом на вопрос о металлогенической специализации самой зоны может служить минеральная ассоциация, наблюдаемая в гидротермально-измененных зонах в бассейне р.Тутхун.

Рудопроявления Тутхунского рудного поля связаны с маломощными кварцевыми жилами и гидротермально-измененными зонами. Структурный контроль магматизма и металлогении осуществляется серией северо-западных разломов, среди которых самым существенным является Газыханлинский, контролирующий интрузивные комплексы (Газыханлы, Агзыбир, Гызылитан) и все гидротермально-измененные зоны с золотом.

Морфологически минерализованные полосы представлены зонами дробления и интенсивного изменения пород. Протяженность таких зон составляет 200-400 м, реже 1500-2000 м, при мощности 0.5-2.5 м. Минеральный состав сульфидной минерализации в зонах представлен пиритом, халькопиритом, сфалеритом, галенитом, самородным золотом, сульфо-антимонитами свинца (джемсонит, буланжерит), бурнонитом, антимонитом, а из нерудных – кварцем, кальцитом, анкеритом. Золото является одним из главных минералов в ассоциациях с сульфидами.

В пределах Малого Кавказа различные эпитермального типа месторождения и рудопроявления ртути, сурьмы, мышьяка и золота, часто в ассоциации с теллуридами, связывают с послеверхнеэоценовыми близповерхностными интрузивами (Кашкай и др., 1967; Керимов, 1963; Сулейманов, Мамедов, 1986).

Исследователями (Кашкай и др., 1967) выделяются четыре стадии гипогенной рудной минерализации на этих этапах:

1. кварц-карбонат-сульфидная (незолотоносная);
2. кварцеворудная с молибденитом (золотоносность непродуктивная);
3. кварц-золоторудная с сульфидами сурьмы и мышьяка (продуктивная на золото);
4. кварц-карбонат-медно-свинцово-цинково-сурьмяная с сульфидами (золотоносная, продуктивная).

Распределение элементов-примесей в зонах гидротермально-измененных пород (Зейналов, 1964) указывает на свойственный им определенный комплекс «сквозных» элементов: Mo, Cu, Co, Au, Pb, Zn и других, определяющих медно-колчеданно-полиметаллический с молибденом и золотом состав минеральных ассоциаций рудопроявлений этой зоны. Каждый из этих элементов в процессе эволюции магматизма, послемагматического изменения и в период формирования зоны испытывает определенную тенденцию к концентрации или рассеиванию. Все это определяет металлогеническую специализацию глубинного магматического очага в мезо-кайнозойский период формирования Севан-Акеринской структурной зоны.

Вышеприведенная рудная минеральная ассоциация данной зоны в соседних Лок-Гарабагской и Гафанской зонах представляет типоморфную минеральную ассоциацию медно-колчеданно-полиметаллических месторождений позднеюрско-раннемелового возраста. Наличие подобной ассоциации в гидротермально-измененных зонах Севан-Акеринской зоны (Тутхунское рудное поле) не исключает возможности обнаружения подобной рудной минерализации под меловым комплексом этой зоны, с последующей ее ремобилизацией в процессах меловых тектоно-магматических активизаций. Данный факт дает возможность утверждать о причастности Севан-Акеринской зоны совместно с Лок-Гарабагской и Гафанской к единой рудно-магматической системе, контролирующей металлогению Лок-Гафанской зоны.

ЛИТЕРАТУРА

АЛЛАХВЕРДИЕВ, Ш.И. 1983. Металлогения офиолитовых поясов Малого Кавказа и сопредельных областей. В сб.: *Металлогения Урало-Монгольского складчатого пояса.* Наука. Алма-Ата. 63-64.

БАБА-ЗАДЕ, В.М., МАЛЮТИН, Р.С. 1967. Химический состав хромшпинелидов в связи с петрохимическими особенностями вмещающих ультраосновных пород офиолитовой формации Азербайджана. *Уч. зап. АГУ, сер.геол.-геогр. наук,* 6, 53-63.

БАБА-ЗАДЕ, В.М. 1974. Проблема офиолитов Севано-Карабахской зоны (Малый Кавказ). *Уч. Зап. АГУ, сер. геол.-геогр. наук*, 3, 3-13.

ГАСАНОВ, Т.Аб. 1985. Офиолиты Малого Кавказа. Недра. Москва. 240.

ЗЕЙНАЛОВ, Н.А. 1964. Геологические особенности и структурные условия локализации золотого оруденения Тутхунского рудного поля (Малый Кавказ). Автореф. канд. дисс. Москва.

ЗОНЕНШАЙН, Л.П., ДЕКУР, Ж., КАЗЬМИН, В.Г. и др. 1987. Эволюция Тетиса. История океана Тетис. АН СССР. Москва. 104-115.

ИСМАИЛ-ЗАДЕ, А.Д. 1992. Модель формирования золоторудных месторождений офиолитовой ассоциации Малого Кавказа. В сб. Геол. службы Ирана.

ИСМАИЛ-ЗАДЕ, А.Д. 2004. Геодинамическая позиция офиолитовой аллохтонной пластины Гейча-Акеринской зоны Малого Кавказа. В сб. трудов, посвящ. 100-летию со дня рожд. П.Д. Гамкрелидзе. Геол. ин-т Грузии. Тбилиси. 64-68.

ИСМАИЛ-ЗАДЕ, А.Д. 2006. Тектоническая позиция офиолитовых поясов в геодинамической эволюции Малого Кавказа. *Известия НАНА. Науки о Земле,* 2, 9-19.

КАШКАЙ, М.А., НАСИБОВ, Т.Н. 1965. Ртутные зоны Севано-Акеринской структуры Малого Кавказа. *Геология рудных месторождений*, 6, 87-90.

КАШКАЙ, М.А., АЛИЕВ, В.И. и др. 1967. Петрология и металлогения магматических формаций бассейна р. Тутхун (Кельбаджарский район Аз.ССР). Элм. Баку. 208.

КАШКАЙ, М.А. 1976. О проблеме ультрабазитовой, базитовой и радиоляритовой ассоциаций. В кн.: *Проблемы петрологии*. Наука. Москва. 232-240.

КЕРИМОВ, А.Д. 1963. К вопросу об условиях образования и размещения баритовых и сульфидно-баритовых месторождений Азербайджана. *Изв. АН Азерб. ССР, сер. геол.-геогр. наук,* 3.

КНИППЕР, А.Л. 1971. Серпентинитовый меланж Малого Кавказа (внутреннее строение и возраст). *Геотектоника*, 5.

КНИППЕР, А.Л., СОКОЛОВ, С.Д. 1974. Предверхнесеноманские тектонические покровы Малого Кавказа. *Геотектоника,* 6, 74-80.

ЛОМИЗЕ, М.Г.1970. О месте офиолитов в тектонической структуре восточной Анатолии и Закавказья. *Изв. ВУЗов, Геология и разведка*, 11, 32-41.

МАЛЮТИН, Р.С. 1967. Хромитоносность ультраосновных массивов офиолитовой формации Азербайджана. *Изв. АН СССР, сер. геол.*, 3, 85-88.

МУСТАФАЕВ, Г.В. 2002. Основные черты металлогении Азербайджана. Nafta-Press. Баку. 231.

МУСТАФАЕВ М.А. 2007. Петрология и геодинамические условия формирования мезозойских магматических комплексов Кавказской окраины Тетиса (Азербайджан). *Вестник БГУ, сер.естествен. наук*, 4, 139-151.

ПАВЛОВ, Н.В. и др. 1968. Хромиты Кемпирсайского плутона. Наука. Москва. 88 с.

РУСТАМОВ, М.И. 2001. Палеотектоника и геодинамика Палеотетиса Каспийско-Кавказского региона. *Тр. ИГ НАНА*, 29, 136-147.

СОКОЛОВ, С.Д. 1977. Олистостромовые толщи и офиолитовые покровы Малого Кавказа. Наука. Москва. 9.

СУЛЕЙМАНОВ С.М., БАБА-ЗАДЕ В.М. 1967. Геологические условия формирования и размещения хромитового оруденения в офиолитовой формации Малого Кавказа (в пределах Азербайджанской ССР). Азернешр. Баку. 170.

СУЛЕЙМАНОВ, С.М., БАБА-ЗАДЕ, В.М. 1974. Геология ртутных месторождений Малого Кавказа. Азернешр. Баку.

СУЛЕЙМАНОВ С.М., МАМЕДОВ Э.А. 1986. Эволюция рудных формаций и промышленные типы рудных месторождений юга Малого Кавказа и Большого Кавказа. В кн.: *Магм. и рудн. формации Азербайджана*. Баку.

СУЛЕЙМАНОВ, Э.С. 1982. Золоторудные формации Малого Кавказа. Элм. Баку. 281.

ШИХАЛИБЕЙЛИ, Э.Ш. 1966. Геологическое строение и история тектонического развития восточной части Малого Кавказа (тектоника и магматизм). Т.II. Изд.АН Азерб. ССР. Баку. 262.

ШИХАЛИБЕЙЛИ, Э.Ш. 1967. Геологическое строение и история тектонического развития восточной части Малого Кавказа (в пределах Азербайджана) Т. III. Изд. АН Азерб. ССР. Баку. 238.

© А.Н.Гаджиев, 2008

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ СКЛАДЧАТОСТИ ЮЖНО-КАСПИЙСКОЙ МЕГАВПАДИНЫ И ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ

А.Н.Гаджиев

Управление разведочной геофизики
AZ1040, Баку, ул. Ю.Алиева, 10

Южно-Каспийская мегавпадина характеризуется своеобразной консолидированной корой и утолщенным (до 35 км) осадочным чехлом. В пределах Южно-Каспийской впадины по структурно-фациальным и тектоническим особенностям разновозрастных комплексов отложений и морфогенетическим признакам в качестве основных элементов выделяются структуры внешнего прибортового обрамления и структуры внутренней депрессии.

Анализ геофизических материалов с учетом некоторых особенностей региональной тектоники региона позволяет предположить, что отмеченные поднятия антикавказского простирания связаны с поперечными дислокациями и обусловлены волновыми колебательными тектоническими движениями, периодически проявлявшимися в прошлые геологические времена. В результате всех отмеченных явлений происходит миграция поперечных поднятий во времени (от мезозоя до верхнего плиоцена) и в пространстве. Заложение большинства погребенных поднятий произошло, по-видимому, в мезозой-палеогеновое время. В дальнейшем рост структур продолжался с некоторой перестройкой тектонического плана. В поздне-плиоценовое время в результате трансгрессии эти поднятия были затушеваны мощным чехлом верхнеплиоценовых и антропогеновых отложений.

Возможно, Южно-Каспийская впадина была сформирована в результате проявления связанных с рифтингом растяжений и погружений в трех направлениях – широтном, субширотном и антикавказском, создавших тройное сочетание региональных тектонических блоков. Вероятно, это сочетание могло обусловить столь глубокое погружение этой впадины.

Южно-Каспийская мегавпадина расположена в пределах Средиземноморского альпийского пояса и характеризуется своеобразной консолидированной корой и утолщенным (до 35 км) осадочным чехлом. Этот геоструктурный элемент охватывает акваторию Южного Каспия и определенные низменные районы суши: Абшеронский п-ов, Нижнекуринский и Гобустанский районы Азербайджана на западе, прибрежную низменность Ирана на юге, Западно-Туркменскую низменность на востоке.

С юга впадина дугообразно окаймлена Эльбурсской складчатой областью, соединяющейся на западе с Аразской зоной Малого Кавказа. У южных берегов Каспия в районе Решта метаморфическое основание (зеленые сланцы, амфибиолиты и гнейсы с ультрабазитами) перекрыты континентальными юрскими отложениями. Западным ограничением впадины является наряду с областью замыкания Большого Кавказа также и герцинский Закавказский «срединный массив» (Талыш-Вандамский), где непосредственно на байкалидах залегает мощная вулканогенно-осадочная толща мезозойского и кайнозойского возраста (рис. 1, 2).

Нефтегазоносность на глубоководье проявилась в определенных геодинамических обстановках, обусловленных благоприятным сочетанием в разрезе и пространстве прогретых качественных нефтематеринских толщ, емких резервуаров и надежных ловушек.

К бассейнам континентального склона пассивных окраин моря приурочены крупные углеводородные ресурсы. Эти бассейны начали свою эволюцию в составе континентальной рифтовой системы, которая после раскола и раздвижения морского дна превратилась в пассивные окраины.

Приуроченная к Каспийско-Персидской нефтегазоносной зоне Южно-Каспийская мегавпадина (ЮКВ) сформировалась в процессе наложения структуры Кавказской ветви на вышеуказанную зону (Хаин, 1988). ЮКВ является не только самой молодой впадиной в этой системе, но и наиболее прогнутой ее частью, испытавшей длительное воздымание на палеозойском этапе формирования региона и прогибание на кайнозойском, особенно на плиоценовой стадии. При изучении глубинного строения Южно-Каспийской мегавпадины и прилегающих территорий были использованы также данные гравиметрии (рис. 3).

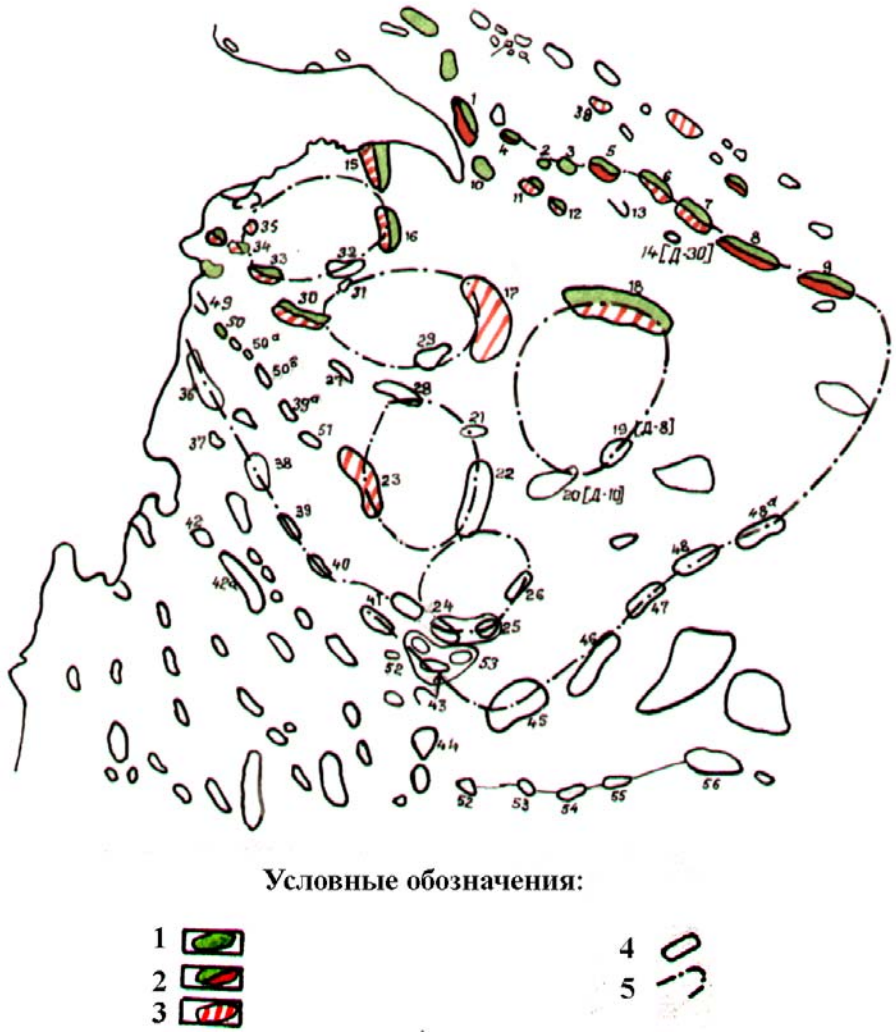


Рис. 1. Схема расположения локальных структур азербайджанского сектора Каспийского моря

1 – нефтяные месторождения
2 – нефтегазовые месторождения
3 – газоконденсатные месторождения
4 – локальные поднятия
5 – кольцевые антиклинальные линии

Список локальных структур

1 – Пираллахи; 2 – Ази Асланов; 3 – Палчыг Пилпиляси; 4 – Чилов адасы; 5 – Нефт Дашлары; 6 - Гюнешли; 7 - Чыраг; 8 – Азери; 9 – Кяпаз; 10 – Гюргян-дениз; 11 – Джануб-1; 12 – Джануб-2; 13 – Огуз; 14 – Джаббар Карьягды (Д-30); 15 – Гум-дениз; 16 – Бахар; 17 – Шах-дениз; 18 – Абшерон; 19 – Мамедкулизаде (Д-8); 20 – Авеста (Д-10); 21 – Машал; 22 – Зафар; 23 – Нахчыван; 24 – Алекберли; 25 – Азизбеков; 26 – Кара Караев; 27 – Умид; 28 – Бабек; 29 – Мушфиг; 30 – Булла-дениз; 31 – Саба; 32 – Саяр; 33 – Хара-Зиря; 34 – Сангачалы-Дуванны; 35 – 8 март; 36 – Бяндован-дениз; 37 – Янан-Тава; 38 – Аташгях; 39 – Ширван; 40 – Джавид; 41 – Джасарет; 42 – Гисас гюни; 42а – Инам; 43 – Дж.Джаббарлы; 44 – Хазина; 45 – Гюлистан; 46 – Араз; 47 – Алов; 48 – Шарг; 48а – Ататюрк; 49 – Хамамдаг-дениз; 50 – Гара-су; 51 – Сабаил; 52 – Фирдовси; 53 – Натаван; 54 – Донмаз; 55 – Хулуфлу; 56 – Ахундов

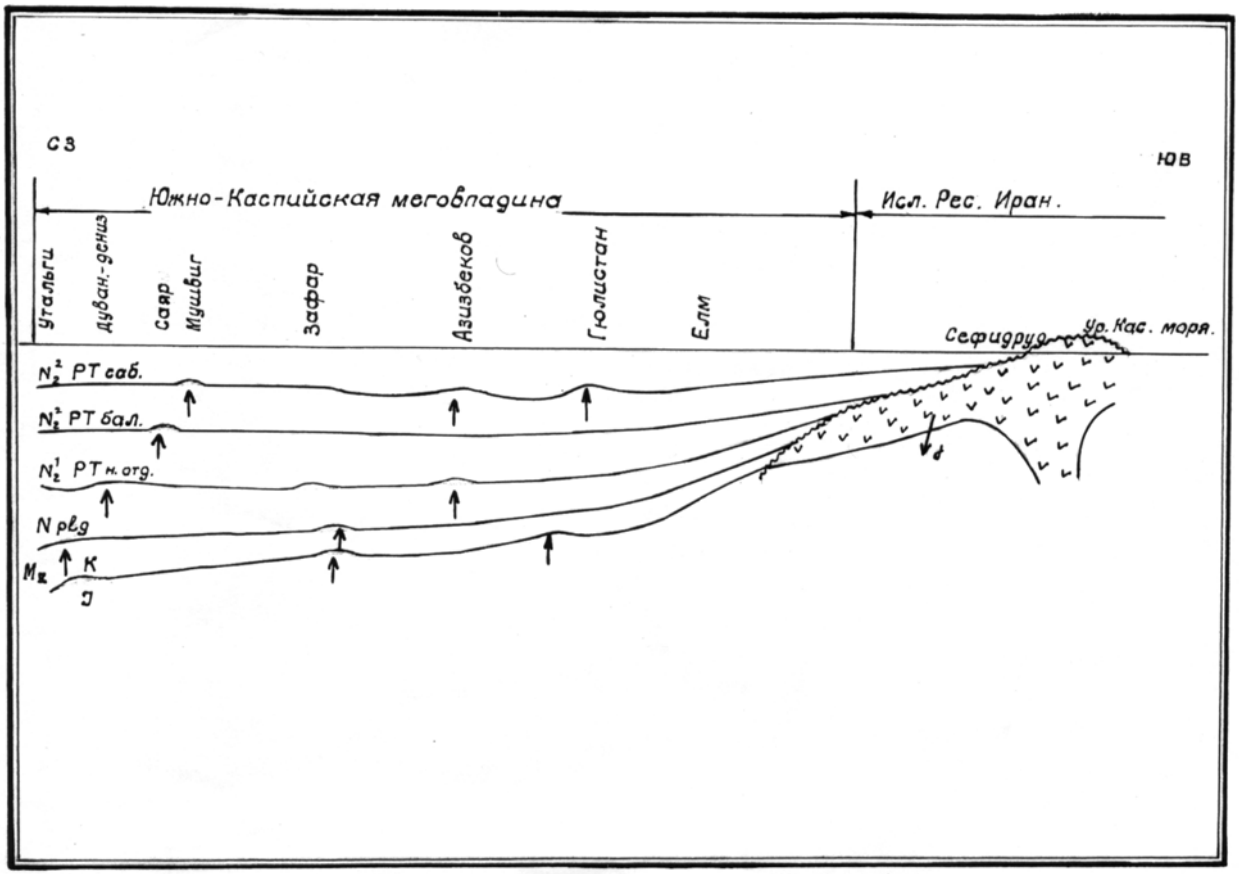


Рис. 2. Региональный сейсмический профиль по линии А-Б Дуванный-дениз – Сефидруд (Иранская Исламская Республика)
∨ ∨ - вулканогенные образования;
↑- миграция проявления тектонических движений во времени и по площади.

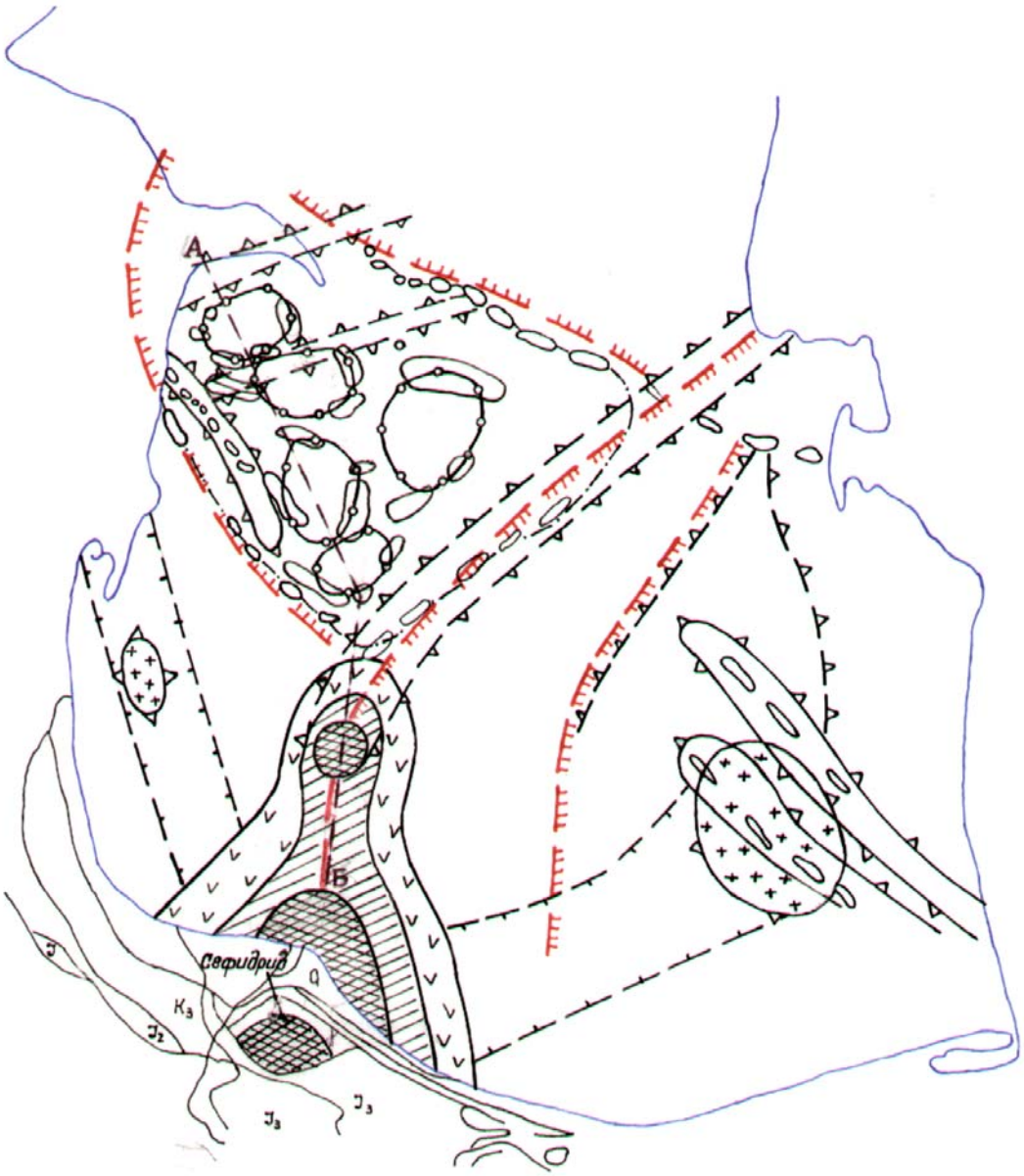
В современном структурном плане наиболее хорошо изучен плиоцен-четвертичный тектонический этаж, по этому плану Южно-Каспийская впадина представляет собой крупную межгорную депрессию, окаймленную сложно построенными, в основном альпийскими, складчатыми сооружениями, имеющими различную историю геологического развития. В пределах Южно-Каспийской впадины по структурно-фациальным и тектоническим особенностям разновозрастных комплексов отложений и морфогеническим признакам в качестве основных элементов выделяются структуры внешнего прибортового обрамления и структуры внутренней депрессии.

Современное строение впадины в целом и прослеживаемых в ней структур обусловлено совместным влиянием тектонических движений трех основных простираний – субмеридианального, субширотного и антикавказского.

На сейсмических разрезах отчетливо выявляется наличие двух структурных этажей. Нижний – мезозойский, сильносмятый в дислоцированную складчатость. К сожалению, в пределах Южного Каспия мезозойские слои скважинами не вскрыты, поэтому многие вопросы остаются дискуссионными.

Верхний – плиоценовый, мощная толща (3000-5000 м) смята в антиклинальные складки, осложненные грязевыми вулканами.

Прибортовое обрамление характеризуется развитием сильно дислоцированных структур, осложненных многочисленными дизъюнктивными нарушениями, диапиризмом и грязевыми вулканами. На сводах большинства локальных поднятий плиоценовые отложения выведены на дневную поверхность (Нефт Дашлары, Булла), верхнеплиоценовые отложения местами полностью размыты.



Условные обозначения:



Рис. 3. Схема расположения кольцевых зон гравимагнитных максимумов
1 – зона распространения мезозойских магматитов;
2 – периферийные участки «массива» А.Н.Гаджиева
а – глубоководная зона, в – мелководная зона;
3 – гравитационные зоны максимумов;
4 – кольцевые антиклинальные линии;
5 – локальные структуры;
6 – палеозойские образования, обнаженные на дневной поверхности;
7 – глубинные разломы;
8 – магнитные аномалии.

К юго-востоку от Нефт Дашлары сейсморазведкой выявлен и подготовлен к глубокому бурению целый ряд структур: Гюнешли, Чыраг, Азери, Кяпаз, являющихся уникальными месторождениями нефти и газа. В гравитационном поле большинству антиклинальных структур соответствуют локальные минимумы, связанные с диапиризмом, разуплотнением пород и т.д. Исключение составляют Огуз, Джануб-2 и б.Лам, где отмечаются локальные максимумы силы тяжести, которые связываются нами с поперечной мезозойской складчатостью.

Новый сейсмический материал в районе поднятия Огуз представляет большой интерес, поскольку пробуренные скважины на поднятии оказались за пределами мезозойского поднятия (рис.4), которое вырисовывается на юго-восточной периклинали структуры.

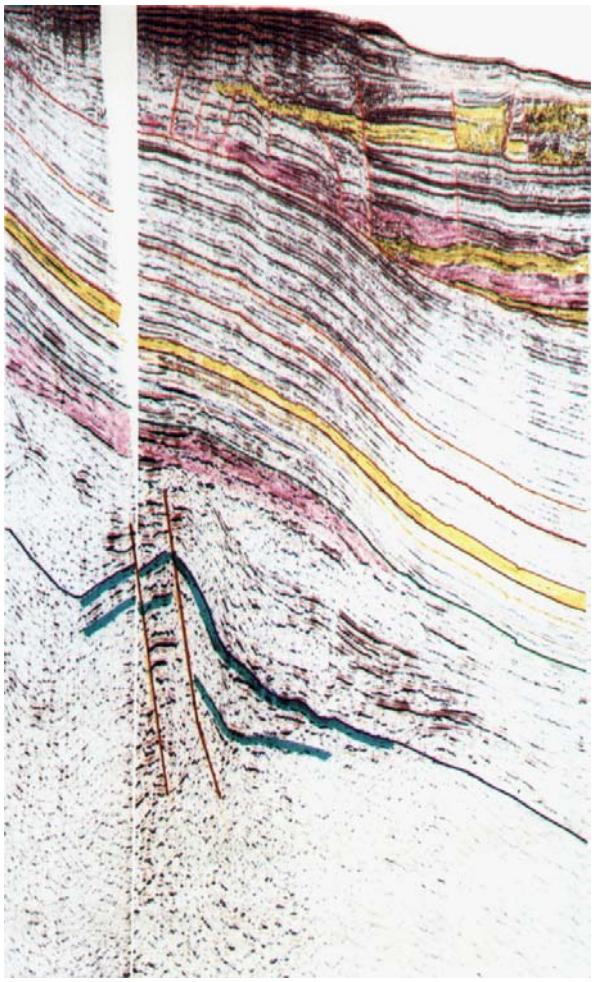


Рис. 4. Сейсмический профиль № 1102 через поднятие Огуз

Характерно, что тектонические линии, исходящие из всех 4 углов ЮКВ (абшеронско-куринского, прибалханского, гогранского и пехлевийского), образуют своеобразный расходящийся веер с изменением простирания от субширотного до субмеридионального. Такая закономерность, вероятно, связана с расположением разломов мезозойского ложа, определивших развитие этих резко выраженных складок плиоцен-антропогенового этажа в обрамлении впадин.

Абшероно-Гобустанская зона поднятий (синклинорий) является морским продолжением одноименных тектонических элементов на суше. В Южно-Абшеронском архипелаге выделяются две обширные депрессии: Джейранкечмезская и Шахово-Говсанская, разделенные в центре близдолготной зоной поднятий Гум-дениз – Бахар – Шах-дениз – Зафар – Машал. Восточный борт Шахово-Говсанской депрессии относительно крутой и сочленяется с юго-западным склоном Абшероно-Прибалханской зоны поднятий. В юго-западной части рассматриваемой тектонической ступени выделяется Джейранкечмезская депрессия, СЗ часть которой расположена на суше, где ее граница геоморфологически и тектонически соответствует контуру распространения среднеплиоценовых отложений. Здесь по верхнеплиоценовым отложениям вырисовывается обширная моноклиналь, погружающаяся в юго-восточном направлении, на региональном фоне которой слабо отмечаются поднятия Гум-дениз – Бахарское – Шах-дениз, Зафар, Машал.

Однако глубинное строение обширной территории депрессии слабо изучено, хотя окаймляющие зоны поднятия с востока (Нефт Дашлары, Южная и др.) и с запада (Дуванный – Сангачалы – Булла-дениз, Умид – Бабек) изучены достаточно полно. Этот пробел в познании геологической обстановки восполняется данными сейсморазведочных исследований, выполненных компанией «Каспиан Геофизикал». Проведенные в последнее время на Абшеронском архипелаге комплексные геолого-геофизические работы, позволяют изучить глубинное строение этой депрессии и характер ее сочленения с обрамляющими зонами поднятий. Особого внимания заслуживают геологические результаты, полученные на морском продолжении Джейранкечмезской

впадины. В течение последних лет на Абшеронском архипелаге по данным сейсморазведки выявлены и подготовлены под глубокое разведочное бурение погребенные структуры антикавказского простирания. В основном они выражены по нижнему отделу ПТ и расположены между известными зонами поднятий Сангачалы-дениз – Хара-Зиря и Гум-дениз – Бахар – Шах-дениз – Умид – Бабек.

Следует отметить, что в пределах рассматриваемых зон поднятий наблюдается уступообразное погружение зеркала плиоценовой складчатости, обусловленное, по-видимому, древними мезозойскими поперечными поднятиями.

Так, в мелководной части архипелага в районе поднятий Гум-дениз, Бибиэйбат-дениз поверхность среднего плиоцена залегает на глубинах до 1000 м, в средней полосе Аран-дениз, Хара-Зиря и Бахар – до 1500 м. Далее в южной полосе (Умид, Бабек, Шах-дениз, Абшерон) эта поверхность погружена до 2300-2500 м.

Как известно, характерной особенностью поднятий Булла и Бабек является изменение направления осей структур в глубоководной зоне Южно-Каспийской впадины. Юго-восточные периклинальные части этих поднятий испытывают тенденцию заворота к востоку и через протяженные выступы они сочленяются соответственно с поднятиями Бахар и Шах-дениз. На фоне отмеченных поперечных выступов обособляются поднятия им.Сайар-Саба и им.Мушфига. В целом структуры представляют собой асимметричные, малоамплитудные брахиантиклинали с пологими крыльями.

Следует отметить, что структуры Дуванный-дениз и Гарадаг-дениз в северной части прибрежья сочленяются через поперечный выступ, на фоне которого на глубинах 5700-6000 м в низах ПТ локализуется самостоятельное поднятие 8 Марта, представляющее собой брахиантиклиналь с углами падения 5-6° и амплитудой более 100 м. К северу от данного поднятия вырисовывается глубокая мульда, северо-западная часть которой расположена на суше. По данным сухопутных сейсморазведочных работ в крайней бортовой части впадины между Кянизадагской и Миаджикской структурами по миоцен-олигоценовым отложениям предполагалось наличие погребенной Южно-Утальгинской структуры. На сводной структурно-тектонической схеме хорошо видно, что эти погребенные поднятия совместно с известными структурами окаймляют мульдообразную синклиналь. Подобные явления в пределах Джейранкечмезской впадины наблюдаются достаточно часто. Таким образом, если проявление и расположение этих погребенных поднятий на первых порах представлялось случайным, то по результатам последующих исследований установлено, что они подчиняются определенной закономерности.

Первая антиклинальная линия окаймляет обширную мульдообразную синклиналь размерами 25-30 км, расположенную между поднятиями Сангачалы-Хара-Зиря и Бахар.

Вторая антиклинальная линия кольцеобразно охватывает структуры Шах-дениз, Мушвиг, Булла-дениз, Умид, Бабек, окаймляющие субширотно ориентированную синклиналь. Диаметр кольцевой линии 40х30 км. Необходимо отметить, что в разрезе рассматриваемого района довольно четко прослеживается граница несогласия, разграничивающая наличие двух структурных этажей. Положение поверхности несогласия проходит не везде на одном стратиграфическом и гипсометрическом уровнях. Если в северной части депрессии (Южное Утальги, 8 Марта) несогласие отмечается между миоценовыми и ПТ отложениями, то в южном направлении (им. Мушфига) оно наблюдается уже внутри ПТ и между ПТ и абшеронскими слоями. Поэтому отдельные структурные этажи сложены разновозрастными комплексами. Верхний этаж, охватывающий верхнеплиоценовые и частично среднеплиоценовые отложения в пределах Джейранкечмезской впадины, представляет обширную моноклиналь, погружающуюся в восточном направлении. Нижний этаж в основном сложен отложениями нижнего отдела ПТ, смятыми в антиклинальные складки. Если по верхнему этажу здесь вырисовывается обширная пологая наложенная впадина, то по нижнему отмечается наличие трех синклиналей, отделенных поперечными поднятиями. Последние составляют единую зону, осложняющую Джейранкечмезскую впадину с диагональным сечением.

Далее на юге в глубоководной части ЮКВ выявленные и пробуренные мегаантиклинали: Абшеронская, Бабек, Зафар, Нахчыванская расположены в пределах кольцевых антиклинальных линий.

Здесь нами весьма убедительно доказана наложенность Джейранкечмезской депрессии:

Третья кольцевая линия с размерами кольца 50х30 км охватывает структуры Бабек, Зафар, Машал, Нахчыван.

Четвертая кольцевая линия диаметром 65-40 км охватывает структуры Абшеронская, Шах-дениз – Зафар – Авеста – Мамедгулизаде;

Пятая кольцевая линия диаметром 50х20 км охватывает структуры Алекберли – Азизбекова и Г.Гараев.

Таким образом, учитывая условия формирования и структурно-тектонические особенности Джейранкечмезской депрессии, можно с определенной уверенностью утверждать о наличии благоприятных погребенных ловушек для скопления и сохранения углеводородов. Поэтому здесь целесообразно бурение поисково-разведочных скважин с проектными глубинами 6000-7000 м.

В районе Ших-дениз ранее по данным МОВ отмечалось наличие двух погребенных поднятий на глубинах 7000 м. По результатам новых комплексных геофизических исследований на месте двух поднятий отмечается единое крупное погребенное поднятие, проявляющееся на глубине 5000 м по подстилающим ПТ отложениям, расположенное на расстоянии 6 км к юго-западу от о.Наргин. Поднятие Ших-дениз представляет собой асимметричную антиклинальную структуру с протяженным юго-западным крылом. Северовосточное крыло проявляется недостаточно четко. Не исключено, что имеет место примыкание разнонаправленных слоев ПТ и миоцен-палеогенового комплекса. Размеры поднятия – 8х3 км, простирается оно в СЗ-ЮВ направлении.

Следует отметить, что структура Бахар является единственным участком в районе исследования, где гравитационное поле представлено локальной аномалией "самбреро". Подобный тип аномалии часто встречается над рифовыми образованиями и имеет вид максимума, сопровождаемого по краям отрицательной аномалией. Шахово-Говсанская депрессия – наиболее погруженная и характеризуется в основном локальными минимумами. В крайней восточной части этой зоны, в районе юго-восточной периклинали структуры Нефт Дашлары отмечается локальный максимум, тогда как большинству структур Абшеронского порога соответствуют локальные минимумы, связанные с разуплотнением пород (диапиризмом, грязевым вулканизмом и т.д.).

Следует отметить, что западная часть структуры Азизбекова простирается в широтном направлении, в середине изгибаясь коленообразно, на востоке приобретает антикавказское направление и соединяется со структурой Г.Гараева.

Отмеченные кольцеообразные линии являются очагами миграции и сохранения углеводородов.

Данные кольцеобразные зоны поднятий являются как бы внутренними. Внешнее региональное кольцо размером 175х150 км ограничивается с юго-востока, по-видимому, Алов-Ататюркской зоной поднятий, имеющей антикавказское простирание, с запада – Хамамдаг-дениз – Аран-дениз – Сабаил – Нахчыванской, а с северо-востока – Абшерон-Прибалханской зонами поднятий.

Во всех этих зонах поднятий, обрамляющих внешнее кольцо, поверхность плиоценовых отложений располагается значительно выше, чем во внутренних зонах, и глубины залегания составляют на северовостоке 700-900 м, а на остальных поднятиях – 1300-1500 м. Таким образом, поднятия на депрессионных участках на 1000 м ниже по гипсометрии.

Рассматриваемая антикавказского простирания зона поднятий охватывает структуры: Азадлыг, Гюлистан, Мамедалиев, Абих, Назим Хикмет и Ататюрк. Здесь по поверхности среднеплиоценовых отложений зеркала складчатости горизонтальные и залегают на глубинах 1500-1700 м.

На всех структурах этой зоны наблюдается наличие крупных грязевых вулканов, уходящих корнями далеко за пределы плиоценового комплекса. В глубоководной части Южного Каспия данная зона поднятий сыграла главенствующую роль в распределении литофации, формировании структур близлежащих зон прднятий.

Таким образом, в пределах рассматриваемой акватории нами впервые выявлено наличие шести кольцеобразных антиклинальных линий по нижнему отделу среднего плиоцена.

К югу от месторождений Бахар протягиваются в меридиональном направлении структуры Шах-дениз, Зафар, Машал, размеры которых по длинной оси составляют 30-40 км при ширине 10-15 км. В меридиональном направлении к юго-востоку происходит погружение шарнира складчатости по кровле среднеплиоценовых отложений до 2500-2800 м. Мощность среднеплиоценовых отложений меняется в пределах 3500-4500 м. Структуры Шах-дениз, Зафар, Машал осложнены грязевыми вулканами и продольными и поперечными разрывами.

На структуре Шах-дениз в среднеплиоценовых отложениях (свита «фасиля» (перерыва), Балаханы) открыто уникальное газоконденсатное месторождение.

На юге меридионально простирающейся зоны поднятий Шах-дениз – Везирова расположена структура Азизбекова, имеющая двоякое простирание: западная часть имеет кавказское направление, а восточная часть – антикавказское. Эта структура расположена на стыке двух крупных зон поднятий: Абих – Ататюркской, имеющей антикавказское простирание, и Янан-Тава – Аташгях – Салатын – Джавид – Алекберли, простирающейся в общекавказском направлении. Таким образом здесь разнонаправленные структуры имеют торцовое сочленение. Эта региональная зона, создающая узел, заслуживает особого внимания с точки зрения поисков нефти и газа.

В восточной прибрежной части Абшеронского п-ова по данным сейсморазведочных (ОГТ) исследований довольно четко отражено юго-восточное морское продолжение Галинской (Тюркянской) и Говсанской структур. Все прибрежье по верхнему плиоцену представляет собой обширную моноклиналь, погружающуюся на юг. По низам ПТ на региональном фоне моноклинали вырисовываются юго-восточные периклинали вышеуказанных структур. Необходимо отметить, что юго-восточная морская периклинальная часть Галинской структуры значительно больше (7х5 км), чем Говсанской и имеет иное простирание. Между этими поднятиями также хорошо проявляется синклинальный залив, являющийся морским продолжением крупной Гоусанской синклинали.

Как известно, Говсанское месторождение приурочено к выклинивающимся горизонтам галинской свиты, несогласно залегающим на размытой поверхности древнего миоцен-олигоценового поднятия.

Заслуживают особого внимания результаты сейсморазведки на суше, уточняющие глубинное строение Говсанского поднятия. Здесь по условному сейсмическому горизонту (УСГ-В) предположительно в миоцен-олигоцене в юго-восточном направлении в отличие от вышележащих ПТ отложений происходит воздымание, свидетельствующее о возможном наличии нового древнего поднятия, расположенного на морском продолжении Говсанского поднятия. Не исключено также наличие литолого-стратиграфических ловушек в низах ПТ. Однако из-за недостаточности сейсмических материалов и отсутствия сведений по мелководью (0-5 м) судить о соотношении структурных планов разновозрастных комплексов отложений, характере сочленения поднятий суша-море и непрерывной прослеживаемости искомых горизонтов затруднительно.

Следы поперечной зоны положительного знака отмечаются также на верхнем структурном этаже, где плиоценовые структуры высоко приподняты и глубоко размыты (верхняя часть продуктивной толщи). Наиболее интенсивный максимум силы тяжести соответствует Гарадагской структуре. Здесь происходит коленообразное сочленение древней мезозойской складчатости с Явандаг-Сангачальской зоной, соответствующей узлу пересечения разнонаправленных зон поднятий, где Гарадаг-Говсанская максимальная зона северо-восточного простирания пересекается с Явандаг-Сангачальской зоной поднятий кавказского простирания.

По результатам высокоточных гравиметрических исследований здесь отмечен локальный максимум силы тяжести, подтверждающий, по-видимому, наличие погребенной структуры.

Далее к югу на гравитационном поле довольно четко выделена протяженная (порядка 100 км) максимальная зона Бахар –

Нефт Дашлары северо-восточного простирания, охватывающая одноименные структуры. Данная зона, по-видимому, является очередной поперечной мезозойской дислокацией Абшеронского архипелага, в пределах данной зоны установлены плиоценовые структуры меридионального простирания.

Интересно отметить, что далее на юге по поверхности плиоценовых отложений выделенные самостоятельные локальные поднятия Низами, Ахмед Джавид и Джафар Джабарлы по низам среднеплиоценовых отложений объединены в единую структуру. Здесь низы плиоцена залегают на глубине 6000 м, тогда как на сводах расположенных к северу структур Алекперли, Азизбекова – на глубине 7200-7400 м. Последние осложнены грязевыми вулканами и состоят каждая в отдельности из двух ундуляций.

По низам среднеплиоценовых отложений в пределах мелководной полосы глубина залегания составляет 4400-4600 м. В пределах вышеуказанных кольцевых зон поднятий зеркала складчатости занимают почти горизонтальное положение и залегают на глубинах 5400-5600 м. Характерными особенностями внутренних зон поднятий являются значительные размеры (800-1000 м) локальных структур, их большие амплитуды, осложненность грязевыми вулканами, пологое залегание, а также обращенность выпуклой частью в сторону депрессии.

Заложение большинства погребенных поднятий произошло, по-видимому, в мезозойское и миоценовое время, а позже рост структур продолжался с некоторой перестройкой тектонического плана. В плиоценовое время в результате инверсии эти поднятия были затушеваны мощным чехлом верхнеплиоценовых и четвертичных отложений. Здесь выделяется крупный максимум Бакинского архипелага, являющийся, как известно, морским продолжением Явандаг-Сангачальского максимума. Область Бакинского архипелага в региональном плане расположена в районе сочленения Абшероно-Гобустанского и Нижнекуринского минимумов. Нижнекуринская ступень с юго-запада ограничена Талыш-Вандамским гравитационным максимумом с охватом зоны поднятий центральной и южной частей Бакинского архипелага. Характерной особенностью для этой зоны является резкая изменчивость геологического строения по площади и по разрезу, так как здесь антиклинальные линии являются морским продолжением складчатых поясов Гобустанской и Нижнекуринской нефтегазоносных областей.

От Абих-Ататюркской зоны под различными углами расходятся другие соподчиненные в какой-то степени антиклинальные линии: Фирдовси, Сарабски, Натаван, Донмез, Хулуфлу, Ахундов, Шарифзаде. Эти структуры линейно сочленяются между собой, однако отличаются кулисообразным сочленением отдельных групп складок.

Здесь также наблюдается наличие грязевых вулканов, осложняющих сводовые части структур и их периклинали.

Кроме того, отмечается на отдельных профилях несоответствие между структурными планами плиоценового и мезозойского комплексов отложений.

С юго-запада протягивается антиклинальная зона Хамамдаг-дениз – Гарасу – Хара-Зиря, разграничивающая Абшероно-Гобустанскую и Нижнекуринскую тектонические ступени. В пределах этой зоны миоценовые отложения вскрыты в скважинах на глубине 4150 м и верхняя часть среднеплиоценовых отложений размыта на 800-900 м. Данные складчатые зоны, имеющие общекавказское простирание, рассечены осепродольными тектоническими разрывами, по которым северо-восточные крылья приподняты относительно юго-западных крыльев с амплитудой порядка 200-300 м. Эти разрывы играют экранирующую роль, так как северо-восточные крылья структур в низах плиоцена нефтегазоносны, а на юго-западных крыльях низы плиоцена малоперспективны. Размеры структур: 10х3 км с амплитудами 200-300 м.

Характерная особенность структур Южного Каспия заключается в том, что с глубиной наблюдается расширение синклинальных прогибов и сужение антиклинальных зон поднятий.

Заслуживают особого внимания нововыявленные грязевые вулканы на дальних погруженных крыльях структур Абшерон, Шах-дениз, Бабек, Аран-дениз, а также на юго-восточной периклинальной части структуры Везирова.

Интересно отметить, что выявленные грязевые вулканы расположены на линии антикавказского простирания. Грязевые вулканы, осложняющие далекие крыльевые части структур, тяготеют к антикавказскому простиранию.

Так, например, юго-западное крыло структуры Шах-дениз тяготеет к северо-восточному крылу структуры Бабек. Грязевой вулкан, осложняющий юго-восточную периклиналь структуры Абшерон, тянется в антикавказском направлении в сторону структуры Мамедкулизаде.

Анализ геофизических материалов с учетом некоторых особенностей региональной тектоники региона позволяет предположить, что отмеченные поднятия антикавказского простирания связаны с поперечными дислокациями и обусловлены волновыми колебательными тектоническими движениями, периодически проявлявшимися в прошлые геологические времена. В результате всех отмеченных явлений происходит миграция поперечных поднятий во времени (от мезозоя до верхнего плиоцена) и в пространстве. Заложение большинства погребенных поднятий произошло, по-видимому, в мезозой-палеогеновое время. В дальнейшем рост структур продолжался с некоторой перестройкой тектонического плана. В позднеплиоценовое время в результате трансгрессии эти поднятия были затушеваны мощным чехлом верхнеплиоценовых и антропогеновых отложений.

По данным бурения и сейсморазведки в юго-западном направлении происходят уменьшение мощности плиоценовых отложений и примыкание их к разновозрастным терригенно-карбонатным – вулканогенным мезозойским образованиям. По-видимому, с этой геологической обстановкой и связано наличие гравитационной ступени в крайней юго-западной части региона. Наиболее крупным тектоническим элементом глубоководной впадины Южного Каспия является зона поднятий Алов-Ататюрк, протягивающаяся в антикавказском направлении на расстоянии более 150 км. По новым данным сейсморазведки и гравиметрии значительно уточнено строение этой зоны, характеризующейся высоко- амплитудными структурами, которым соответствуют максимумы аномалий силы тяжести, свидительствующие, по-видимому, об унаследованном развитии мезозойских плиоценовых структур. Далекое северо-восточное продолжение мезозойской зоны поднятий Алов-Ататюрк отмечено в Южно-Карабогазской зоне в виде максимумов и разломов поперечного простирания. В целом Алов-Ататюркская зона на большей части территории отделяет глубоководную котловину Южного Каспия от Туркменского шельфа. В глубоководной части Южного Каспия данная зона поднятий сыграла главенствующую роль в распределении литофации плиоценовых отложений, формировании структур Туркменской террасы и морской части Нижнекуринской области. От Алов-Ататюрской зоны поднятий под различными углами расходятся другие соподчиненные в какой-то степени антиклинальные линии. Алов-Ататюркская зона поднятий служит также объединяющим звеном между Абшероно-Прибалханской антиклинальной зоной на севере и «массивом», расположенным в Предэльбурсском регионе. Характерная особенность структур Южного Каспия заключается в том, что с глубиной наблюдается расширение синклинальных прогибов и сужение антиклинальных зон поднятий. Заслуживают особого внимания структуры Абшерон, Шах-дениз, Бабек, Аран-дениз, а также появление грязевых вулканов в юго-восточной периклинальной части структуры Машал.

Структуры Абшеронского и Бакинского архипелагов характеризуются конседиментационным развитием, о чем свидетельствуют значительное уменьшение мощностей верхнеплиоцен-четвертичных отложений по направлению к сводовым частям складок и наличие нескольких региональных несогласий в разрезе (между средним плиоценом и акчагылом, в абшероне и т.д.). Здесь широко развиты диапировые структуры нагнетания, осложненные грязевым вулканизмом. В большинстве случаев отмечается соответствие современного рельефа дна и складок друг другу, а также наблюдается наличие грязевого вулкана в синклинальной части.

С большей убедительностью можно говорить об истории развития рассматриваемого региона, начиная с плиоценового времени.

Отсутствие понтических отложений в одних структурах (Хали, Ази Асланова) и наличие их в других (Гюнешли) в пределах одной тектонической линии указывает на дифференцированный характер роста складок, в результате чего происходит неравномерное осадконакопление и размыв понтических отложений на разных структурах. Несогласное залегание среднеплиоценовых отложений на понтических говорит о регрессии бассейна в конце понта. Следовательно, к началу плиоцена большинство складок было сформировано на дне палеобассейна.

Анализируя карту изопахит между кровлей и подошвой среднеплиоценовых отложений, мы видим, что осадконакопление в среднеплиоценовое время происходит одновременно с ростом антиклинальных поднятий. Как видно из карты изопахит, на фоне общего прогибания происходит формирование локальных поднятий.

В пределах Абшероно-Прибалханской зоны мощность среднеплиоценовых отложений составляет 3300-3500 м, к северо-востоку в районе поднятий Новханы, Айпара – 2700 м. На юге Абшеронского полуострова на поднятиях Гум-адасы, Бахар и 8 Марта мощности среднеплиоценовых отложений составляют 4300-4500 м.

На большей части территории Южно-Каспийской впадины эти мощности изменяются в пределах 5300-5500 м.

Здесь, на карте изопахит некоторые структуры (Талыш-дениз, Араз-дениз, Лянкяран-дениз,Гарби-Айпара) не нашли полного отражения, что свидетельствует о позднеплиоценовом времени их формирования.

В пределах Бакинского архипелага структуры Аташгях, Мугань-дениз, Салатын, Инам и др. также не отразились на карте изопахит, что указывает на формирование этих структур в акчагыльско-абшеронское время в результате инверсии.

Интересно отметить, что если структура Интигам на карте изопахит между сейсмическими горизонтами, приуроченными к кровле и подошве среднеплиоценовых отложений соответствует синклинальному прогибу, то по карте среднего плиоцена верхи сураханской свиты соответствуют палеоподнятию, где мощности изменяются в пределах 250-300 м.

К концу среднего плиоцена вся Абшероно-Прибалханская зона морфологически представляла собой, видимо, систему гряд, сводовая часть которых размывалась и на размытой поверхности отлагались породы акчагыла. В среднеплиоценовое время в пределах акватории Южного Каспия ее южная часть была наиболее приподнята, а на ранних этапах среднего плиоцена, возможно, представляла собой сушу.

Решающую роль при формировании складок плиоцен-антропогенового этажа акватории Южного Каспия играли два фактора – складчатые движения, вызванные тектоническими усилиями, ориентированными в плане интенсивно прогибающейся Каспийской впадины, и древний структурный план, возникший в процессе воздымания Большого и Малого Кавказа в мезозое и отчасти палеогене, а также Эльбурсской складчатой системы.

При погружении в глубоководную часть Каспия антиклинальные линии испытывают виграцию и изменение простирания осей складок от общекавказского до широтного и субмеридионального. По-видимому, это явление можно объяснить влиянием расположенного юго-восточнее палеоген-мезозойского массива Гаджиева А.Н. Необходимо отметить, что по новейшим сейсмическим исследованиям, вопреки существующим представлениям, отмечается региональное уменьшение мощности среднеплиоценовых отложений в сторону глубоководной впадины. В пределах этих структур мощность плиоценовых отложений значительно сокращена из-за наличия массива. По-видимому, в раннеплиоценовое время, палеозой-мезозойские слои Эльбурса, протягиваясь далеко на территорию Южного Каспия, возвышались над уровнем моря, а на периферийных участках откладывались плиоценовые осадки. Возможно, Южно-Каспийская впадина была сформирована в результате проявления связанных с рифтингом растяжений и погружений в трех направлениях – широтном, субширотном и антикавказском, создавших тройное сочетание региональных тектонических блоков. Вероятно, это сочетание и могло обусловить столь глубокое погружение этой впадины.

ЛИТЕРАТУРА

ВОЛЬВОВСКИЙ, И.С., ШЛЕЗИНГЕР, А.Е. 1975. Положение Черноморской и Южно-Каспийской впадин в структуре земной коры. В кн.: *Земная кора окраин материков и внутренних морей*. Наука. Москва.

ГАДЖИЕВ, А.Н. 1980. Глубинное строение Южного прибрежья Абшеронского полуострова и направление поисково-разведочных работ. *Азербайджанское нефтяное хозяйство*, 11.

МАЛОВИЦКИЙ, Я.П. 1968. История геотектонического развития впадины Каспийского моря. *Изв. АН СССР, сер.геол.*, 10.

МУРЗАГАЛИЕВ, А.М. 1998. Геодинамика Каспийского региона и ее отражение в геофизических полях. *Геология нефти и газа*, 2, 10-15.

ОБЪЯСНИТЕЛЬНАЯ записка к Международной тектонической карте Каспийского моря и его обрамления. 2003. Москва. 118.

ХАИН, В.Е. 1988. Баренцево-Каспийский пояс нефтегазоносности – один из крупнейших в мире. В: *Геология, разведка и разработка нефтегазовых месторождений*. 4-8

ХАИН, В.Е., ПОЛЯКОВА, И.Д. 2004. Геодинамические предпосылки нефтегазоносности континентальных склонов глубоководных впадин. *Геология и геофизика*, 45, 5-14.

ШИХАЛИБЕЙЛИ, Э.Ш. 1960. К вопросу о глубинном строении впадины Южного Каспия и окружающих областей. Докл.сов.геол. на Международном геол.конгр., XXI сессия. Изд. АН СССР. Москва.

ШТЕКЛИН, Й. 1979. Древняя континентальная кора в Иране. В кн.: *Геология континентальных окраин*, 3. Мир. Москва.

© М.Ф.Тагиев, 2008

БАССЕЙНОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В АЗЕРБАЙДЖАНЕ: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

М.Ф.Тагиев

Институт геологии НАН Азербайджана
AZ1143, Баку, просп. Г.Джавида, 29А

С начала публикаций первых работ по бассейновому моделированию в Южно-Каспийском осадочном бассейне прошло более 20 лет. За этот период рассмотрен широкий спектр динамических процессов, протекающих в осадочной толще, начиная от оценки физических параметров литосферной плиты, образования и миграции нефти и газа в осадочном слое до эволюции геометрии грязевых диапиров. Получены важные результаты по оценке масштабов генерации и миграции углеводородов, глубинных и временных границ нефтегазообразования, распределению аномально высоких поровых давлений и др. Отмечается необходимость укрепления и расширения сотрудничества с учеными и специалистами отечественных организаций и западных компаний с целью построения моделей, отвечающих самым высоким требованиям в этой области. Усовершенствование моделей применительно к неравновесным бассейнам, в частности к Южно-Каспийскому бассейну, предполагает внедрение алгоритмов 2-х и 3-х мерного численного описания изменения геометрии слоев и глинистых тел, динамики массообмена и фазовых переходов в осадочном чехле, формирования специфических механизмов и каналов субвертикальной миграции УВ флюидов. Отмечены преимущества применения аппаратно-программных средств моделирования в подготовке молодых исследователей и обучении студентов. Ввиду стремительного развития нефтегазодобывающей промышленности и транспортной системы в Азербайджане, дальнейшие исследования по прогнозу нефтегазоносности региона с использованием таких современных научных технологий, как бассейновое моделирование является приоритетным направлением наук о Земле.

В последние годы бассейновое моделирование заняло твердое место в ряду инструментов и средств, используемых при изучении процессов образования нефти и газа, их миграции в осадочных бассейнах и аккумуляции в месторождениях. Присутствие времени наряду с пространственными координатами в применяемых вычислительных схемах делает возможным прослеживание геологических процессов в ходе эволюции бассейна. Искусство моделирования состоит в формулировке гипотез и сценариев и их последовательном осуществлении путем изменения входных параметров. Таким способом можно тестировать систему на чувствительность к вариации того или иного параметра или явления. Поскольку описание процессов строится на законах физики и химии, а решение осуществляется на строгой математической основе, геологические гипотезы подвергаются научному испытанию. Гипотеза, не поддающаяся описанию средствами моделирования, считается недостаточно обоснованной.

В число основных процессов, моделируемых программными пакетами по бассейновому моделированию, входят уплотнение пород, стационарный и нестационарный перенос тепла, образование УВ путем термического разложения исходного ОВ и крекинга жидких УВ (Yukler, Kokesh, 1984). Кроме того, моделируются процессы первичной и вторичной миграции жидких и газовых УВ. В число задач, решаемых с помощью моделирования, входит также прогнозирование аномально высоких поровых давлений, образующихся вследствие неравновесного уплотнения низкопроницаемых пород.

Первый опыт применения методов бассейнового моделирования для Южно-Каспийской впадины был осуществлен в 1987-1992 гг. в Институте Геологии (Тагиев, 1989). В рамках этих исследований была разработана методика оценки УВ потенциала глубокопогруженных осадочных отложений и создано программное обеспечение для ее реализации на ЭВМ. С использованием этих средств была

дана количественная оценка реализации нефтяного и газового потенциала и построены карты плотности (на единицу площади) генерированных УВ для различных стратиграфических комплексов ЮКВ. Суммарные масштабы генерации нефти и газа в различных осадочных комплексах были выражены в конкретных числах (Тагиев, 1994; 1999). Кроме того, путем интегрирования кинетической модели генерации УВ (Tissot, Welte, 1984) и модели восходящей миграции газа (Абрамсон и др., 1971; Антоненко, Гулиев, 1985) были прогнозированы интервалы глубин в разрезе ЮКВ с наибольшей концентрацией метана (Тагиев, 1994).

Еще на этапе становления бассейнового моделирования в качестве новой области в науках о Земле, основываясь на наблюдениях в региональном масштабе, согласно которым поровые давления в глинах значительно превышают их значения в песчаниках, Bredehoeft и др. (1988) отмечали превосходство латеральной миграции флюидов в бассейне Южного Каспия. Путем математического моделирования было установлено, что для поддержания потока флюидов в масштабе бассейна требуется регионально выдержанная система, состоящая из пластов-проводников, гидравлически изолированных слабопроницаемыми слоями.

Для реконструкции процессов генерации и миграции УВ и прогнозирования их скоплений в ЮКВ в последние годы академическими, учебными и отраслевыми научными организациями Азербайджана в сотрудничестве с зарубежными компаниями и научными центрами был выполнен ряд проектов по бассейновому моделированию.

Первый такой проект был выполнен в 1994 г. сотрудниками Института Геологии НАНА совместно с сотрудниками Научного Центра Мармара (Турция) под руководством проф. Н.Ялчин (Inan и др., 1997). Моделированием процесса нефтегазообразования в осадочной толще Нижнекуринской впадины было установлено, что нефтяное окно в разрезе Нижнекуринской впадины охватывает палеогеновый стратиграфический интервал. Согласно этой модели, генерация нефти началась в конце плиоцена и продолжается в настоящее время на глубинах 6-12 км.

В 1995-1996 гг. сотрудники Института Геологии НАНА выполнили серию научных проектов в Университете Южной Каролины (США) под руководством признанного специалиста в области бассейнового моделирования проф. И.Лерча (Lerche и др., 1997). Путем построения одномерных моделей по ряду площадей (Tagiyev et al., 1997; а также Geohistory..., 1997) была численно воссоздана картина образования нефти и газа и эволюции аномально высоких поровых давлений в осадочной толще северо-западной части Южно-Каспийского бассейна. В качестве входных параметров были использованы литофации пород, возраст и мощность составляющих разрез толщ, пористость, проницаемость, поровые давления, температура, количество и тип ОВ, отражательная способность витринита и другие параметры. Спектр возможных глубинных и временных границ генерации нефти определялся путем моделирования двух экстремальных сценариев эволюции теплового поля: при тепловом потоке, составляющем соответственно половину и двукратную величину от современного значения с линейным изменением во времени до достижения современных значений. Было установлено, что наиболее интенсивная генерация нефти и газа происходила в течение последних 5,2 млн. лет в растянутом до 3 км нефтяном окне, причем последнее ограничивалось глубинами 5-11 км (рис. 1).

Как правило, нефтяное окно охватывает отложения, залегающие ниже подошвы нижнего плиоцена. Недоуплотнение, вызванное большими скоростями накопления преимущественно глинистых пород, приводит к смещению контуров равных давлений вверх по разрезу, начиная с раннего плиоцена (рис. 2а). Кроме того, наблюдается латеральный тренд уменьшения избыточных давлений в направлении от центральных и западных частей области к северо-востоку (рис. 2б), что в сочетании с увеличением песчанистости в том же направлении позволяет сделать предположение о преимущественной миграции УВ в указанном направлении и их последующей аккумуляции в резервуарах.

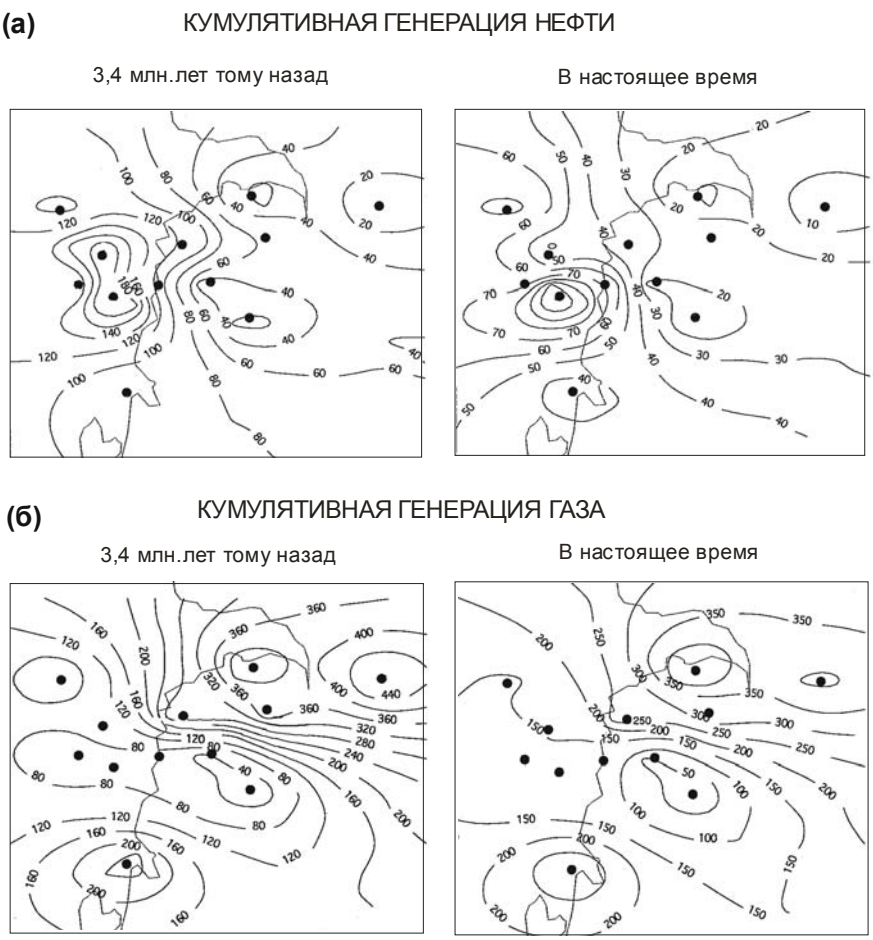


Рис. 1. Схематические карты кумулятивной генерации (**а)** нефти и **(б)** газа по глубинному срезу 8 км (шифры изолиний - в единицах мг УВ/г ОВ)

Этой же группой исследователей был применен инверсный метод моделирования эластичной плиты (Nadirov и др., 1997). В качестве геологической основы, был использован 12-секундный сейсмический разрез длиной 270 км, пересекающий осадочную толщу ЮКВ с запада на восток. В результате были определены параметры, характеризовавшие физическую природу плиты до появления на ней осадочных слоев. Значение, установленное для параметра жесткости плиты, оказалось сопоставимым с оценками этого параметра для океанической коры, что согласуется с предположением о залегании фрагмента океанической коры Тетиса под осадочным покровом бассейна.

Другое исследование было осуществлено с применением пакета двумерного бассейнового моделирования GEOPET II (Predicted..., 1997). Глубинный 12-секундный сейсмический профиль длиной 280 км, протянувшийся от западного через центр до восточного борта ЮКВ, послужил структурной основой для количественного описания формирования бассейна, истории его термальной эволюции и образования УВ. Результаты моделирования позволяют проследить динамику давления флюидов, а также изменение избыточного давления вдоль всего разреза, включая участки развития грязевого диапиризма и вулканизма. Показано, что аномально высокие поровые давления являются следствием несбалансированного уплотнения. Количественно описана прямая связь между низкой прогретостью бассейна и высокими скоростями осадконакопления. Другим важным выводом данной работы является количественное подтверждение возможности миграции УВ из глубокозалегающих материнских толщ и их аккумуляции в резервуарах ПТ.

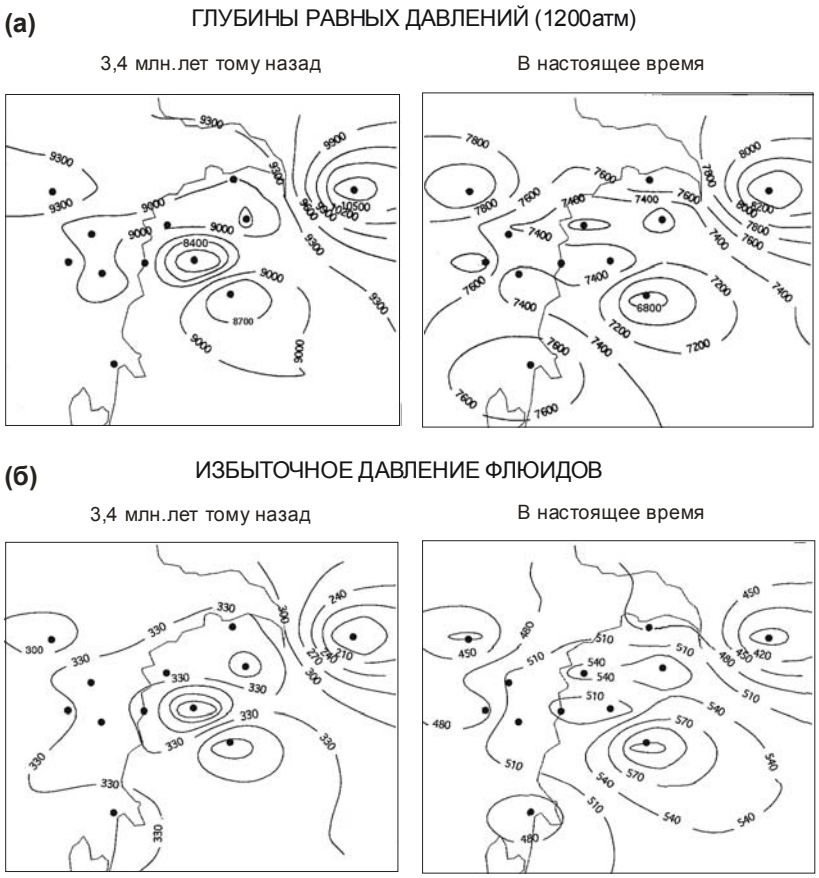


Рис. 2. Характеристика распределения поровых давлений : **(а)** – глубины (в метрах) равных давлений (1200 атм); **(б)** – избыточное давление (атм) на срезе 8 км.

Инверсная математическая методика, первоначально разработанная И. Лерчем для моделирования геометрической эволюции соляных диапиров и прилегающих к ним слоев отложений, была применена к грязевому диапиру площади Везиров (Quantitative ..., 1997). Структура этого диапира была интерпретирована по данным 12-секундного сейсмического профиля. Используя данный подход, было прослежено развитие грязевого диапира во взаимодействии его с осадочными слоями в течение геологической истории.

Еще один проект по бассейновому моделированию был осуществлен Институтом Геологии НАН Азербайджана в сотрудничестве с Японской Национальной Нефтяной Компанией. (Geological evoluation…, 2001). Было использовано программное обеспечение SIGMA-2D, разработанное в Технологическом Исследовательском Центре Японской Национальной Нефтяной Компании. Данный программный пакет представляет собой образец воплощения современных знаний и методологий в области бассейнового моделирования, и поэтому необходимо приведение здесь некоторой информации о его строении и возможностях.

Программный пакет состоит из трех основных модулей: геология, генерация и миграция. Модуль геологического моделирования численно воспроизводит погружение и уплотнение отложений, тектонические нарушения и гидравлический разрыв слабопроницаемых пород, поток флюидов и теплоперенос. Уплотнение пород вычисляется на основе закона действующего напряжения и зависит от возможности вытеснения поровых флюидов. Увеличение давления флюидов находится в зависимости от нагрузки осадочной массы, расширения флюидов или генерации УВ. Тектоническое разрывообразование определяется путем упрощенного количественного анализа напряжений, а гидравлическое разрывообразование прогнозируется на основе распределения поровых давлений. Температурное поле разреза моделируется на

основе уравнений кондуктивного и конвективного переноса тепла. Для решения уравнений, описывающих процессы миграции флюидов и переноса тепла в двумерных осадочных разрезах, используется метод конечных разностей.

В модуле генерации вычисляется созревание ОВ и, как результат, образование нефти и газа. Модель считается достоверной, если она калибруется данными по отражательной способности витринита и изомеризации стеранов. Термальное разложение ОВ описывается параллельными и последовательными реакциями, что математически формулируется в виде системы кинетических уравнений 1-го порядка.

В модуль миграции входит моделирование вытеснения флюидов из материнских пород, их вторичной миграции и аккумуляции в резервуарах с учетом растворения флюидов в термобарических условиях осадочного бассейна. Расчет движения флюидов в осадочной среде базируется на законе Дарси с учетом относительной проницаемости для различных фаз. Поскольку движение флюидов в слабопроницаемых породах обладает своими, отличающимися от такового в пластах-проводниках особенностями, то для этой категории пород применяется специальная формулировка относительной фазовой проницаемости. Максимальная растворимость газа в нефти является функцией давления и температуры и дифференцируется в зависимости от типа нефти и газа. В условиях, когда достигается предел растворимости, избыточный газ может мигрировать в виде свободной фазы. Герметичность покрышки определяется характеристиками капиллярного давления для данной литологии.

На каждом шаге расчетов и для каждой элементарной ячейки разреза одновременно решаются четыре балансовых уравнения. В это число входят уравнения сохранения массы соответственно воды, нефти и газа, а также уравнение сохранения энергии (тепла). Свойства пород и флюидов задаются в качестве входных параметров. Характеристики пород, имеющие отношение к потоку флюидов, такие как проницаемость, относительная проницаемость и капиллярное давление вычисляются как функции пористости на заданной глубине. Свойства, связанные с тепловым потоком, такие как теплопроводность и теплоемкость задаются в виде функций пористости, температуры и давления.

Геологическое строение, интерпретированное по сейсмическим разрезам, пересекающим глубоководную часть ЮКВ, легло в основу двумерного моделирования по программе SIGMA-2D. Построение модели потребовало ввода широкого спектра геологических, геотермических и геохимических данных. Например, результаты во многом зависят от литологического описания горизонтов, слагающих моделируемые разрезы (рис. 3а). Более проницаемые горизонты способствуют латеральной миграции флюидов и в благоприятных структурных условиях могут служить вместилищем УВ (рис. 3б).

Согласно результатам моделирования, жидкие УВ, образовавшиеся в олигоцен-миоценовых отложениях и эмигрировавшие из них в позднемиоцен-раннеплиоценовый период, мигрировали в северном направлении и были накоплены в структурах Абшерон-Прибалханского порога. Структуры Шах-Дениз, Булла-Дениз, Бахар и др., расположенные в глубоководной части бассейна, в этот период еще не были сформированы. Позже, к моменту, когда эти структуры начали образовываться, материнские отложения находились в зоне конденсато- и газообразования. Соответственно, в них уже поступали продукты поздней генерации, преимущественно газообразные УВ. Реализация ключевых элементов углеводородной системы (*petroleum systems*) Южного Каспия в ходе геологической истории бассейна иллюстрируется с помощью специальной аннотированной диаграммы на примере двух площадей (рис. 4).

С использованием программы GEMMOD Mudford и др. (1997) построили двумерную модель термального поля, преобразования ОВ и потока флюидов по разрезу, протягивающемуся от месторождения Балаханы-Сабунчи-Раманы до структуры Шах-Дениз. Согласно их исследованиям, значительное различие в распределении давлений по разрезу в месторождениях Абшеронского полуострова и глубоководных структурах обусловлено глубинным разломом, проходящим между структурами Гум-Дениз и Бахар-Дениз. Указанный разлом экранирует поток флюидов, поступающих из центральной глубокопогруженной части бассейна.

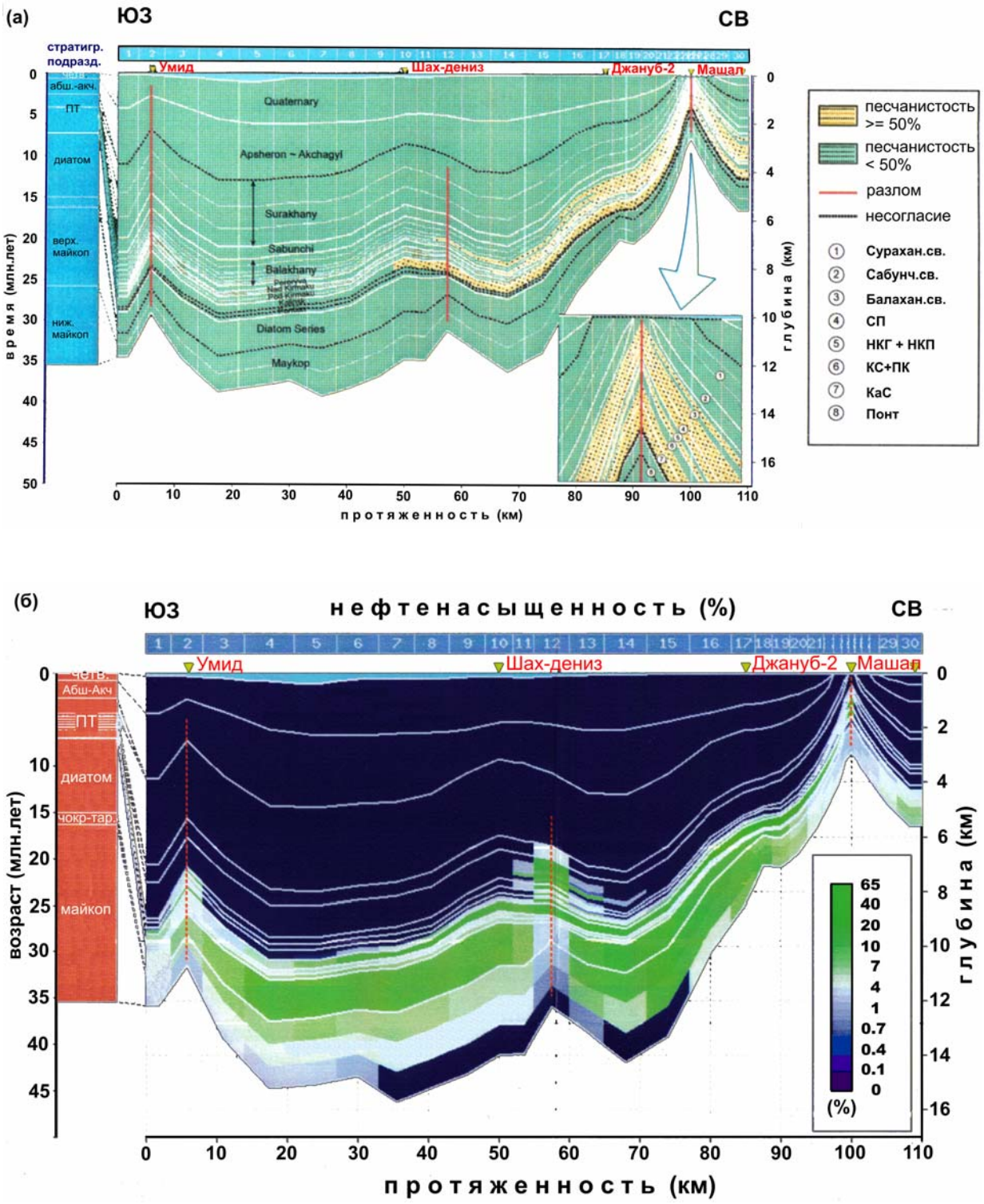


Рис. 3. В Южно-Каспийской впадине наличие, расположение и протяженность проницаемых горизонтов в разрезе **(а)** являются определяющими факторами для миграции и накопления УВ **(б)**.

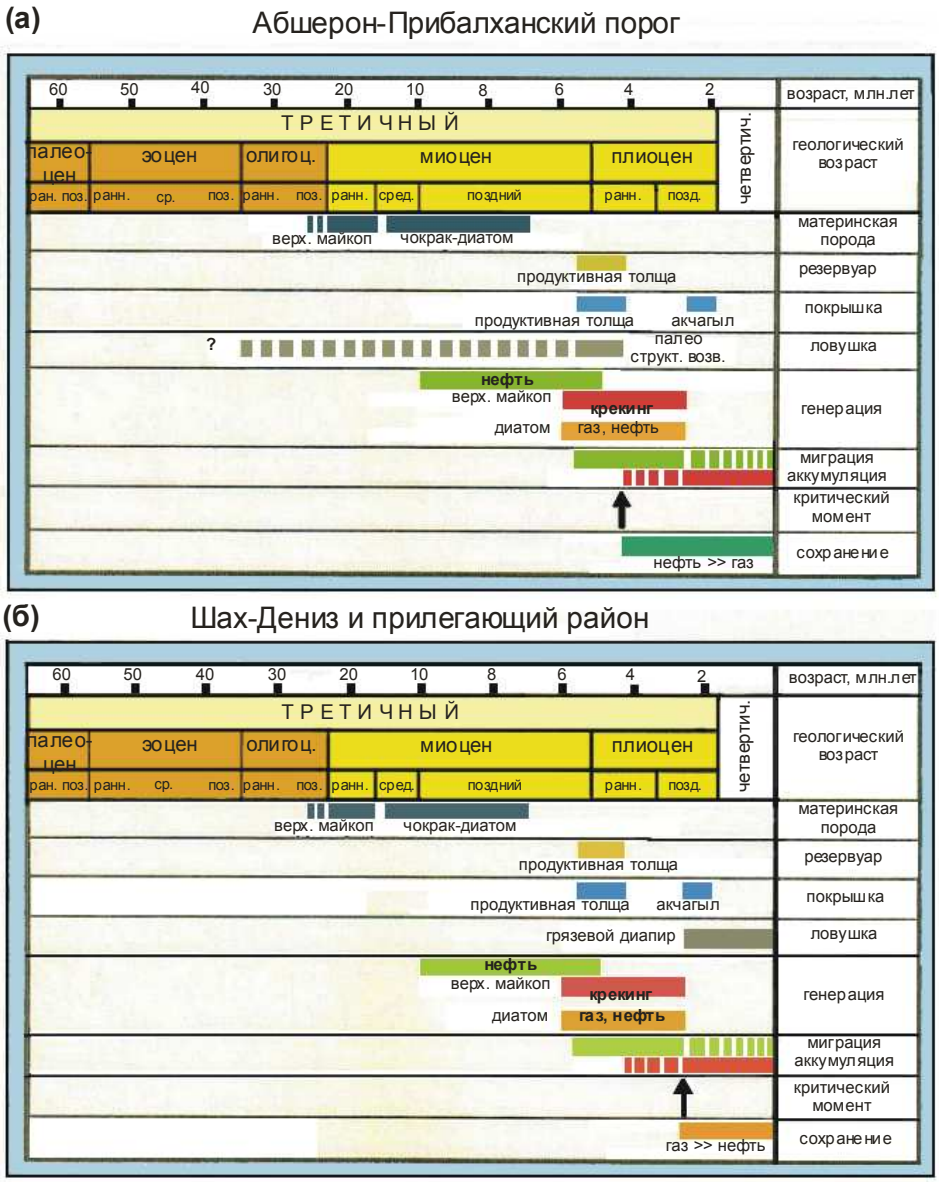


Рис. 4. Аннотированные диаграммы реализации элементов углеводородной системы Южного Каспия в ходе геологической истории бассейна для **(а)** Абшерон-Прибалханского порога и **(б)** площади Шах-Дениз.

Abrams и Narimanov (1997) применили пакет бассейнового моделирования BasinMod с целью оценки уровня зрелости ОВ и температуры в олигоценовых отложениях ЮКВ, залегающих на глубинах, не вскрытых бурением. Так, максимальная степень преобразованности ОВ в отложениях верхнего олигоцена на участке Пирсаат, выраженная в эквиваленте отражательной способности витринита, равна 0.75% (рис. 5а). Для ОВ морского происхождения (тип 2) это соответствует начальному этапу генерации нефти. На диаграмме, построенной для данного участка, выделяются две основные фазы УВ генерации, начавшиеся – первая 6 млн. лет и следующая примерно 2 млн. лет тому назад. Эти два импульса генерации являются следствием погружения отложений, последующего воздымания и повторного погружения. На участке Бахар отмечается только одна фаза генерации УВ. Здесь верхнеолигоценовые отложения по эквиваленту отражательной способности витринита находятся на том же уровне созревания ОВ, что было прогнозировано для участка Пирсаат (рис. 5б).

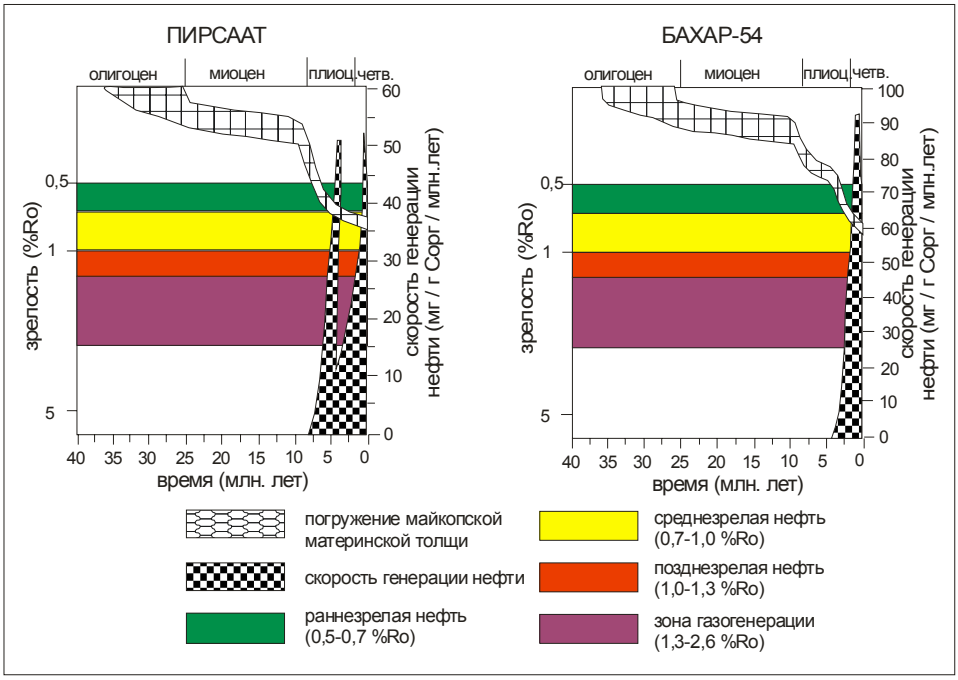


Рис. 5. Скорость генерации углеводородов (в ед. мг нефти/г ОВ/млн. лет) в олигоценовых отложениях по площадям: **(а)** Пирсаат и **(б)** Бахар (слева по вертикали указана шкала зрелости по отражательной способности витринита - %Ro)

По данным моделирования, выполненного Klosterman и др. (1997), интенсивная генерация нефти в Евлах-Агджабединском прогибе охватывала глубины 4-6 км и началась 3 млн. лет тому назад. Только малая часть потенциально материнских пород была погружена до глубин, необходимых для термальной зрелости, в результате чего в осадочной толще были генерированы небольшие объемы нефти.

Для количественного описания современного и палеотемпературного режима и связанных с этим особенностей нефтегазообразования в Прикаспийско-Губинском районе было проведено моделирование по отдельным площадям (Hydrocarbon prospectivity..., 1998). Эти модели основывались на постоянном и изменяющемся во времени тепловом потоке, рассчитанном по температурным данным из скважин и с учетом геотермических свойств пород. Построенные термальные модели сопоставлялись с данными по отражательной способности витринита (Ro) – показателя, фиксирующего максимальное температурное воздействие, испытанное вмещающими породами. Таким образом, было установлено, что в Прикаспийско-Губинском нефтегазоносном районе процессы нефтегазообразования охватывают стратиграфический интервал от юры до раннего плиоцена включительно.

На рис. 6 в качестве примера приводится динамика преобразования ОВ, наложенная на историю погружения отложений для участка Ялама.

При современном температурном градиенте (около 2,0°C/100 м), тепловой поток для юрского времени был задан на уровне 70 мВт/м^2 с последующим падением до 35 мВт/м^2 в мелу. В олигоцене он опять повысился (61 мВт/м^2). Согласно результатам расчетов уже на рубеже юры и мела генерация нефти в нижнеюрских отложениях достигла своего пика (%R_o~ 0.7-1.0%). Низы мела входят в зону нефтяного окна только в миоцене.

Анализируя результаты бассейнового моделирования в Азербайджане, можно заключить, что процессы нефтеобразования охватывают здесь широкий стратиграфический интервал (от юры до раннего плиоцена включительно) и характеризуются изменчивостью в пространстве. Основными факторами, определяющими особенности нефтегазообразования, являются история развития и особенности геологического строения бассейна, его температурный режим и т.д.

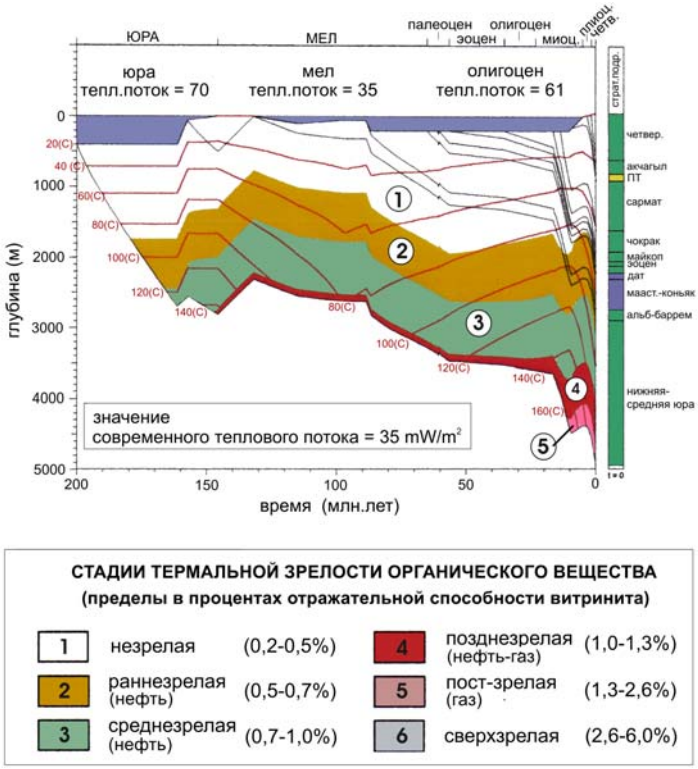


Рис. 6. Термальное преобразование ОВ по мере погружения осадочных отложений на участке Ялама Прикаспийско-Губинского района

Так, например, согласно результатам моделирования в ЮКВ, которая испытала интенсивное прогибание и процесс лавинного осадконакопления с формированием мощной толщи плиоцен-четвертичного комплекса отложений и погружением мезозойских пород на значительные глубины (до 25-30 км), пик нефтеобразования, имея растянутый характер, охватывает молодые палеоген-неогеновые отложения.

В то же время в Прикаспийско-Губинском краевом прогибе, где эти процессы в кайнозойское время были существенно ослабленными, имея наложенный характер, и где мезозойские породы имеют неглубокое залегание или даже обнажаются на поверхности (на северных отрогах восточного окончания Б.Кавказа), интервал интенсивной генерации нефти, как правило, приходится на меловые и юрские породы. Кроме того, большие перерывы в осадконакоплении в северной части этого прогиба (площади Ялама, Хачмаз) находят свое отражение в формировании большого стратиграфического диапазона (особенно на площади Хачмаз) между началом и пиком генерации нефти. На площади Шурабад, в отличие от других рассмотренных площадей, начало генерации нефти приходится на относительно более древние нижне-меловые отложения, что связано с длительным воздыманием и интенсивным размывом вышележащих отложений.

Следует также отметить, что по результатам моделирования некоторые различия в процессах нефтеобразования наблюдаются даже в пределах одного бассейна. Так, если в центральной, наиболее погруженной морской части Южно-Каспийского бассейна, в процесс нефтеобразования вовлечены главным образом миоценовые отложения, то на суше, в пределах Нижнекуринской впадины (НКВ), преобладающую роль играют палеогеновые отложения. При этом важно отметить, что этот вывод, основанный на результатах бассейнового моделирования, очень хорошо подтверждается данными об изотопном составе углерода нефтей. Нефти НКВ отличаются относительно более легким изотопным составом углерода (ИСУ), характерным для пород древнее миоцена, в то время как нефти Абшеронского и Бакинского архипелагов ха-

рактеризуются тяжелым ИСУ, что характерно для неогеновых пород (Гулиев и др., 2000).

В заключение нужно отметить, что выявленные в результате моделирования особенности образования УВ и их миграции имеют важное значение при изучении механизма формирования их месторождений, оценке перспектив нефтегазоносности и планировании нефтегазопоисковых работ. Будущее развитие этого направления связано с переходом от одномерных и двумерных моделей к трехмерным, способным воспроизвести и визуализировать эволюцию процессов, протекающих в геологическом пространстве средствами современного компьютерного оборудования. По сравнению с двумерными трехмерные модели более сложные, к тому же непрерывно расширяется спектр моделируемых процессов. Следовательно, возникает необходимость в большем количестве разнохарактерных вводных данных, применении интерполяции и экстраполяции данных. Последнее особенно актуально для малоисследованных участков и глубокозалегающих горизонтов изучаемых бассейнов. В этой связи важное значение приобретают вероятностные оценки прогнозируемых параметров.

Западные нефтяные компании, используя находящиеся в их распоряжении современные базы геолого-геофизических данных, свои финансовые и экспертные возможности, и, конечно, в силу коммерческой необходимости находятся на передовых позициях применения новейших технологий в бассейновом моделировании. Следовательно, необходимо углублять сотрудничество с этими компаниями в области освоения технологий и знаний по моделированию и визуализации геологических процессов. Не менее важно усиление сотрудничества и отечественных специалистов в области геологии, геохимии и геофизики с целью создания наиболее адекватных моделей для исследования осадочных бассейнов.

Традиционные методы количественного анализа бассейнов основываются на классической «направленности» развития осадочных слоев изучаемого бассейна, когда флюиды перемещаются в стабильном осадочном каркасе согласно канонам теории фильтрации. Формирование УВ систем в неравновесных бассейнах, наиболее ярким примером которых является ЮКБ, значительно отличается от традиционных представлений. В таких бассейнах процессы генерации, миграции и накопления УВ протекают в условиях всплывания / выжимания огромных масс разуплотненных, пластичных глинистых тел, деформации структуры осадочного чехла и образования субвертикальных разломов и зон дробления, импульсных перетоков вещества с огромными скоростями (Гулиев и др., 2004). С учетом вышесказанного становится ясным необходимость разработки теоретической, математико-алгоритмической и программной базы для моделирования комплекса сложных процессов: модификации геометрии слоев и тел, массообмена и фазовых переходов в осадочном чехле, формирования специфических механизмов и каналов субвертикальной миграции УВ флюидов.

Необходимо отметить одну замечательную технологическую особенность бассейнового моделирования. Построенные модели, базирующиеся на безбумажной, компьютерной основе, со всеми их исходными данными и отлаженными результатами доступны для использования и дальнейшей модификации со стороны различных исследователей, в том числе тех, кто решит заняться этой областью геонаук в последующие годы. Программные средства 3-х мерной визуализации предоставляют отличный иллюстративный геологический и геофизический материал, который может быть использован в целях обучения студентов и молодых специалистов.

Стремительное развитие нефтегазодобывающей промышленности и транспортной системы в Азербайджане в настоящее время выводит его на ключевую позицию в снабжении рынков Европы углеводородными ресурсами с Каспийского региона. В этой связи дальнейшие исследования по прогнозу нефтегазоносности этого региона, с использованием таких современных научных технологий, как бассейновое моделирование являются приоритетным направлением наук о Земле. Учитывая это, думается давно назрела необходимость создания регионального центра по бассейновому моделированию.

ЛИТЕРАТУРА

АБРАМСОН, Е.Ф., САВЧЕНКО, И.Ф., СТКЛЯНИН, Ю.И. 1971. Миграция газов с учетом накопления и размыва общей мощности осадочных пород. В сб.: *Результаты разработки и опробования прямых геохимических методов поиска нефти и газа*. Недра, Москва, 26-30.

АНТОНЕНКО, Е.Ф., ГУЛИЕВ, И.С. 1985. Результаты моделирования газовых полей стратисферы в процессе геотектонического развития. В сб.: *Научно-методические основы и опыт использования геохимических методов поисков месторождений нефти и газа*. ВНИИЯГГ, Москва, 13-19.

ГУЛИЕВ, И.С., ФЕЙЗУЛЛАЕВ, А.А., ГУСЕЙНОВ, Д.А. 2000. Зрелость нефтей разновозрастных резервуаров в Южно-Каспийской мега-депрессии. *Геология нефти и газа,* 3, 41-50.

ГУЛИЕВ, И.С., ФЕЙЗУЛЛАЕВ, А.А., КАДИРОВ, Ф.А. 2004. Углеводородные системы неравновесных бассейнов (на примере Южно-Каспийского бассейна). *Изв. НАН Азербайджана. Науки о Земле,* 4, 3-13.

ТАГИЕВ, М.Ф. 1989. К разработке математической модели разложения керогена. Тезисы I Всесоюзного совещания-семинара *Нефтегазоносность больших глубин и грязевой вулканизм*. Баку, 104-105.

ТАГИЕВ, М.Ф. 1994. Геолого-математическое моделирование нефтегазообразования и методы оценки углеводородного потенциала глубокопогруженных осадочных комплексов (на примере Южного Каспия). Автореферат на соис.уч.степени канд.геол.-мин.наук. Баку.

ТАГИЕВ, М.Ф. 1999. Геолого-математическое моделирование нефтегазообразования и оценка углеводородного потенциала глубокопогруженных осадочных комплексов (на примере Южного Каспия). *Известия АН Азербайджана. Науки о Земле,* 1, 3-13.

ABRAMS, M.A., NARIMANOV, A.A. 1997. Geochemical evaluation of hydrocarbons and their potential sources in the western South Caspian depression, Republic of Azerbaijan. *Marine and Petroleum Geology,* 14, 451-468.

BREDEHOEFT, J.D., DJEVANSHIR, R.D., BELITZ, K.R. 1988. Lateral fluid flow in a compacting sand-shale sequence : South Caspian Basin. *AAPG Bulletin,* 72, 416-424.

GEOHISTORY, thermal history and hydrocarbon generation history of the north-west South Caspian basin. 1997. In I.Lerche et al.: *Evolution of the South Caspian Basin: Geologic Risks and Probable Hazards.* Nafta Press, Baku,50-103.

GEOLOGICAL evaluation of the South Caspian Basin, using 2-D basin modeling software (SIGMA-2D). 2001. JNOC Study Report. October, Tokyo.

HYDROCARBON prospectivity of Northeastern Azerbaijan. 1998. Report of joint study by GIA, Collinson Jones Consulting and First Exchange Co. October. Baku.

INAN, S., YALCIN, N., GULIEV, I., KULIEV, K., FEIZULLAYEV, A. 1997. Deep petroleum occurences in the Lower Kura Depression, South Caspian Basin, Azerbaijan: an organic, geochemical and basin modeling study. *Marine and Petroleum geology,* 14, 7/8, 731-762.

KLOSTERMAN, M.J., ABRAMS, M.A., ALESKEROV, E.A., ABDULLAYEV, E.N., GUSEINOV, A.N., NARIMANOV, A.A. 1997. Hydrocarbon system of the Evlakh-Agdzhabedi depression. *Azərbaycan Qeoloqu,* 1, 89-118.

LERCHE, I., BAGIROV, E., NADIROV, R., TAGIYEV, M., GULIYEV, I. 1997. Evolution of the South Caspian Basin: Geologic Risks and Probable Hazards. Nafta-Press. Baku.

MUDFORD, B.S., ALIYAROV, R.F., KONDRUSHKIN, Y.M., DJEVANSHIR, R.D., AKHMEDOV, A.J., EFENDIEV, C.M. 1997. Two dimensional modelling of fluid flow and maturity evolution in the South Caspian basin, using GEMMOD basin simulator. *Azərbaycan Qeoloqu,* 1, 67-88.

NADIROV, R.S., BAGIROV, E.B., TAGIYEV, M.F., LERCHE, I. 1997. Flexural plate subsidence, sedimentation rates, and structural development of the super-deep South Caspian Basin. *Marine and Petroleum Geology,* 14, 4, 383-400.

PREDICTED hydrocarbon accumulations and pressure evolution for a 2-D section of the South Caspian Basin. 1997. *In* I.Lerche et al.: *Evolution of the South Caspian Basin: Geologic Risks and Probable Hazards*. Nafta Press, Baku, 104-229.

QUANTITATIVE modeling of mud diapirism: evolution of the Vezirov mud diapir. 1997. In I.Lerche et al.: *Evolution of the South Caspian Basin: Geologic Risks and Probable Hazards*. Nafta Press, Baku, 531-580.

TAGIYEV, M.F., NADIROV, R.S., BAGIROV, E.B., LERCHE I. 1997. Geohistory, thermal history and hydrocarbon generation history of the north-west South Caspian basin. *Marine and Petroleum Geology,* 14, 4, 363-382.

TISSOT, B.P., WELTE, D.H. 1984. Petroleum formation and occurrence. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 699 p.

YUKLER, M.A., KOKESH, F. 1984. A review of models used in petroleum resource estimation and organic geochemistry. In: *Advances in petroleum geochemistry*, V.1, Academic Press, London, 69-113.

Рецензент: член-корр. НАН Азербайджана А.А.Фейзуллаев

ГЕОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА

© Г.Г.Кулиев, 2008

О ВНУТРЕННЕМ СТРОЕНИИ ЗЕМЛИ И ТЕКТОНИКЕ В РАМКАХ НЕКЛАССИЧЕСКОГО ЛИНЕАРИЗИРОВАННОГО ПОДХОДА

Г.Г.Кулиев

Институт геологии НАН Азербайджана
AZ1143, Баку, просп. Г.Джавида, 29А

Эволюция Земли в пределах неклассически линеаризированного подхода (НЛП) изучается в виде последовательности смены неустойчивых состояний равновесия, проявляющихся в форме возмущений (аномалий) фонового непрерывного развития. Возмущенные состояния характеризуют образование структурных элементов разного масштаба и возникают при определенных критических соотношениях между геометрическими, разнообразными (произвольной природы) силовыми и деформационными параметрами фонового состояния. Структурные элементы внутреннего строения Земли соответствуют фундаментальным характеристикам деформируемой системы; теоретически обосновывается наличие обнаруженных ранее геолого-геофизическими методами вертикальных и следующих из НЛП латеральных структур разломного типа и показывается, что они возникают как необходимые этапы закономерного развития Земли; предлагаются новые механизмы образования этих и аналогичных тектонических структур.

1. Исследования закономерностей эволюции шарообразной Земли, условий возникновения ее основных структурных элементов, механизмов их участия в геодинамике и в формировании современного внутреннего строения до сих пор относятся к числу дискуссионных проблем геологии и геофизики. Несмотря на почти двухсотлетнюю историю изучения, они еще далеки от завершения. Здесь еще много нерешенных принципиально важных вопросов.

С развитием техники и методов сейсмотомографии, аэрокосмического зондирования, GPS технологии и прогрессом в изучении физико-механических, петрофизических свойств минералов и пород при высоких термобарических условиях проблемы данного направления получили мощный импульс для дальнейшего развития. Многие устоявшиеся научные представления значительно были уточнены, претерпели существенные изменения и были дополнены. Был разработан и воспринят специалистами ряд научных концепций и теорий, которые, сыграв свою роль в изучении этих проблем, в дальнейшем были пересмотрены. Их место сейчас занимают другие подходы, и этот процесс продолжается. Накопленные в большом объеме геолого-геофизические экспериментальные данные легли в основу различных общих теоретических моделей эволюции Земного шара и частных моделей образования и развития отдельных ее структурных элементов. Создание адекватных теоретических моделей в этих направлениях, постановка соответствующих им задач геологии и геофизики, разработка методов их решения, обработка и интерпретация на их основе экспериментальных, полевых и других фактических материалов являются достаточно актуальными фундаментальными и прикладными задачами. Появившиеся в последние годы многие обобщающие монографии, обзорные статьи и оригинальные труды авторитетных ученых, многочисленные специализированные научные журналы по данной тематике также показывают, что научное сообщество прилагает серьезные усилия для решения этих фундаментальных проблем. Известно, например, что программа «Глубинное строение Земли» является одним из основных направлений деятельности институтов Отделения наук о Земле Российской Академии наук.

Проблема внутреннего строения Земли – сверхсложная и многогранная. В исследованиях этой проблемы наметился ряд основных направлений. Отдельно рассматриваются геолого-физические задачи и модели, относящиеся к континентальной и океанической коре (здесь также имеется внутренняя дифференциация, т.е. структуры осадочного чехла и консолидированной коры–фундамента), континентальной и океанической литосфере, верхней, средней и нижней мантии, внешнему и внутреннему ядру. Естественно, что наиболее разработанными являются задачи, относящиеся к осадочному чехлу, т.к. наряду с косвенными геолого-геофизическими методами исследований здесь имеется возможность непосредственного наблюдения с помощью бурения скважин. Поэтому данные результаты наиболее достоверны, а полученные на их основе представления о внутренней структуре осадочного чехла, о динамике его развития и об его роли в развитии коры, литосферы и т.д. используются в качестве базовых при изучении более глубоких структурных элементов Земли. Геофизические методы исследования для более глубоких недр Земли также тестируются и апробируются при изучении осадочного чехла.

Задачи, относящиеся к осадочному чехлу, наряду с научным также имеют практическое значение. Это связано с тем, что, с одной стороны, здесь находятся полезные ископаемые, а с другой стороны, в составе литосферы осадочный чехол участвует в подготовке геологических катастроф, представляющих опасность для человека.

Из многочисленных фактических геолого-геофизических данных следует, что шарообразная Земля состоит из коры, мантии и ядра, которые в свою очередь расслоены различными геосферами (Белов А.А., Гарагаш И.А. и др., Георгобиани, Дмитриевский А.Н., Егоркин А.В., Закарая Д.П., Короновский Н.В., Леонов Ю.Г., Ломизе М.Г., Мейсон Р., Меланхолина Е.Н. и др., Павленкова Г.А., Паталаха Е.И. и др., Пейве А.А., Пущаровский Д.Ю., Пущаровский Ю.М., Руженцев С.В., Соколов С.Д., Сорохтин О.Г., Суворов А.И., Ушаков С.А., Фундаментальные проблемы общей тектоники, Хаин В.Е., Шишкин Е.И., Шишкина Т.Ю., Bhattacharya A.R., Boyer S., Elliot D., Coword M.P., Ries F.C., Enderle U. et al., Goleby D.R., Shaw R.D., Hilst R.D., Lister J.R., Buffet B.A., Lobkovskiy L.I. et al., Magnitskiy V.A., Montelli R. et al., Olsen K.H., et al., Reston T.J., Ringvud A.E., Sandwell D., Smith W.H., Singh S.C., McKenzie D., Trempert J. et al., White S.H., Bretan P.G., Williams O., Revenaugh J.). Сейсмическими методами в мантии выделены (Егоркин А.И., Павленкова Н.И., Пущаровский Ю.М., Su W. et al., Williams O. and Revenaugh J.) глобальные границы, ограничивающие указанные геосферы и ряд промежуточных границ в их внутренних частях. Выделенные границы хорошо коррелируются с глобальными сейсмическими рубежами и зонами минеральных и химических преобразований в мантии (Пущаровский Д.Ю., Пущаровский Ю.М., Hilst R.D., Trempert J. et al.). По вскрытым эрозией неактивным зонам коры визуально наблюдаются сдвиговые зоны, покровы и надвиги (Белов А.А. и др.). В работах вышеуказанных авторов и др. установлено, что сейсмотектонические процессы, связанные с подобными зонами, более характерны для активных регионов литосферы. Исследованы механизмы образования и развития глубинных сдвиговых зон в современных и древних тектонически активных поясах мира, их роль в динамике литосферы и предложена концепция тектонической расслоенности литосферы (Белов А.А., Пейве А.В.). Обоснованное огромным фактическим материалом фундаментальное учение о тектонической природе расслоения литосферы (Пейве А.В.) опирается на три основные положения: 1) широкое распространение тектонических покровов (Белов А.А., Руженцев С.В. и Соколов С.Д., Фундаментальные проблемы общей тектоники); 2) способность литосферы к большим пластическим деформациям и тектоническому течению (Лукъянов А.В. и Лукъянова В.Р.); 3) несоответствие (дискордантность) тектонической структуры пластин, находящихся на разной глубине, выявленное аэрокосмическими, геоморфологическими и геофизическими методами (Трифонов В.Г., Трифонов В.Г. и Певнев А.К.). Геофизические данные позволили дополнить эти геологические представления информациями по глубинным структурам, тектоническим, температурным и химико-фазовым процес-

сам, протекающим в настоящее время. В частности, выявлено, что псевдовертикальные у поверхности Земли сдвиговые нарушения выполаживаются с глубины (Георгобиани и Закарая Д.П., Шишкин Е.И. и Шишкина Т.Ю., Feng R. and McEvilly T.V., Goleby D.R. et al., Reston T.J.). По повышенной концентрации гипоцентров землетрясений в некоторых интервалах глубин также выделены механически ослабленные зоны (Калинин В.А. и др.). Прекрасными геолого-геофизическими парадигмами, показывающими роль структур разломного типа в формировании и динамике тектоники верхней мантии, являются существующие в коре, местами в глубоких частях континентальной и океанической верхней мантии аллохтоны, несогласия и надвиги в виде наклонных сейсмических рефлекторов (отражателей). Такие структуры обнаружены на сейсмических профилях, которые охватывают огромные вертикальные разломные зоны, доходящие до глубины 200 км (зона Чарли Гиббса, разделяющая Северную и Центральную Америку (Пущаровский Ю.М.).

Томографические исследования (Пущаровский Ю.М., Cserepes L. et al., Deuss A. and Woodhouse J.X., Dziewonski A.M., Dziewonski A.M. and Woodhouse J.H., Enderle U. et al., Ekstrom G. and Dzicwonski A.M., Forte A.M. et al., Forte A.M. and Mitrovica J.X., Fukao Y. et al., Grand S.P. et al., Gu Yu et al., Hilst R.D., Kellog L.H. et al., Kennet B.L.N. M. et al., Kido M. and Yuen D., Loper D.E. and Lay T., Marnyama S., Montagner J.P. and Tanimoo T., Montelli R. et al., Polet J. and Anderson D.L., Resovsky J.S. and Ritzwoller M.H., Ritsema J. and Van Heijst H.J., Shearer and Flanagan M.P., Singh S.C. and McKenzie D., Su W. et al., Trempert J. et al., Van der Hilst R.D. and Korason H., Vasco D.W. and Johnson L.R., Vinnik L. et al., Widiyantoro S. et al., Widiyantoro S. et al., Zhang Y.S. and Tanimoto T.) показывают, что в средней и нижней мантии также существуют неоднородности и границы раздела геосфер. Такие неоднородности, занимающие огромные площади и имеющие толщину в десятки километров, находятся на различных глубинах коры и мантии Земли. Обнаружено, что ниже отметки определенных глубин плотность вещества не увеличивается; наоборот, здесь оно (т.е. вещество) находится в разуплотненном состоянии. Скорости сейсмических волн на границах этих неоднородностей скачкообразно изменяются. Внутри этих неоднородностей скорости сейсмических волн иногда в несколько раз меньше, чем в верхних и нижележащих зонах. В связи с этим в научной литературе эти неоднородности нередко называют волноводами. Разработаны различные подходы к исследованию причин и механизмов их образования. В частности, в (Алешин А.С. и Галаганов О.Н.) анализ физической сущности выявленных сейсмотомографией неоднородностей в мантии (Montelli R. et al.) показал, что местом зарождения вторичных энергетических очагов плюмов и конвективных ячеек являются зоны субгоризонтальных тектонических срывов.

Считается, что существующая в верхних геосферах расслоенная структура сформировалась главным образом в результате тектонических движений, что доказывается ныне общепризнанными теориями глобальной тектоники плит и тектонической расслоенности литосферы (Белов А.А. и др., Пейве А.В., Пейве А.А. и Пущаровский Ю.М., Пущаровский Ю.М. и Пущаровский Д.Ю., Суворов А.И., Фундаментальные проблемы общей тектоники, Хаин В.Е., Хаин В.Е. и Ломизе М.Г.). На основе анализа трехмерных изображений сейсмотомографических неоднородностей, их пространственного размещения, формы, размеров и интенсивности проявления в мантийных геосферах сделан вывод (Дортман Н.Б., Пущаровский Ю.М.) о том, что тектоносфера не ограничивается литосферой или верхней мантией, как принято думать, а простирается вплоть до земного ядра, охватывая мантию в ее полном объеме. Считается (Пущаровский Ю.М., Хаин В.Е.), что континенты движутся по зонам тектонических срывов на глубинах до 450-500 км. Массы верхней мантии движутся вдоль поверхности Мохо и сейсмического раздела на глубине 670 км (основание верхней мантии). Отмечается, что проскальзывание масс в более глубоких геосферах вполне вероятно. Считая, что на больших глубинах вследствие изменчивости термобарических условий могут существовать зоны частичного плавления, предполагают, что по ним могут происходить тектонические срывы. Принимается, что

глубже 800 км должны преобладать деформации сублатеральных срывов.

На основе экспериментальных исследований породообразующих минералов в условиях огромных статистических и динамических термобарических воздействий выполнен большой цикл работ с целью обоснования результатов данного класса геолого-геофизических задач (Альтшулер Л.В. и др., Дортман Н.Б., Жарков В.Н. и Трубицин В.П., Калинин В.А. и др., Мейсон Р., Пуарье Ж.П., Aleksandrov G.T. et al., Bakulin V.N. and Protoseniya A.G., Bayuk E.I. et al., Kalinin V.A., Kuliev G.G., Navrotsky, Physical properties of the mineral system of the Earth's interior, Toksıoz M.N. et al., Yin H. and Rasolofosaon P.N.J.). Показано (Калинин В.А. и др., Ringvud A.E.), что под (динамическим и статическим) термобарическим воздействием происходят изменения механических и прочностных характеристик веществ при различных структурных фазовых переходах. Экспериментальные исследования (Ringvud A.E.), расчеты диаграмм состояния (Кусков О.Л. и др.) и данные по метоморфизму (Добрецов Н.Л. и Хлестов В.В.) показали, что при высоких термобарических условиях, существующих в коре и мантии Земли, большинство породообразующих минералов подвергаются различного рода микроструктурным превращениям (фазовые переходы, химические реакции). Особенное внимание уделено исследованиям скачков плотности, изменения объемного модуля сжатия и теплоты превращения. В процессе превращения понижается предел прочности и изменяется характер разрушения. Для активизированных зон метаморфизма земной коры и верхних частей мантии характерны твердотельные метаморфические превращения вещества, т.е. процесс, при котором происходят изменения плотности и структуры испытывающих превращения кристаллических зерен и замена старых зерен с большой плотностью нарушений кристаллической решетки на новые – свободные от этих нарушений. В этом процессе происходит падение прочностных характеристик, рост деформируемости и уменьшение (по крайней мере некоторых) упругих модулей претерпевающих превращения веществ (Калинин В.А. и др., Пуарье Ж.П.). Развитие аномалии линейных упругих свойств имеет место только в случае достаточно быстрой кинетики метаморфического превращения, а возникновение аномалии прочностных свойств слабо лимитируется этим параметром.

Приведенные экспериментальные факты и научные представления положены в основу модельных исследований строения литосферы, т.е. постулируется, что в структуре литосферы существуют механически ослабленные плоские слои, и путем применения вышеупомянутых особенностей физических свойств твердых тел при превращении рассчитываются характерные параметры (ориентация, мощность, амплитуда и скорость смещения). Таким путем удается дать научное обоснование генезису глубинных сдвиговых зон, выявленных в нижней коре и в верхней мантии (Goleby D.R. et al., Reston T.J.). В (Kalinin V.A.) объяснены природа больших относительных перемещений слоев литосферы, образование некоторых геологических структур, механизмы ряда поверхностных и глубокофокусных землетрясений. В (Калинин В.А. и др., Kalinin V.A.) отмечается, что слои микроструктурных превращений являются волноводами для сейсмических волн, поскольку такие превращения вызывают ослабление (потерю) механических свойств слоя или отдельной области Земли, где они происходят. Указывается, что в зависимости от скорости изменения термобарических условий и скорости протекания микроструктурного превращения оно одновременно может охватить слой мощностью до нескольких километров. Также выполнена интерпретация сейсмотектонических процессов в активных регионах литосферы на базе аномальных физических свойств горных пород при микроструктурных превращениях. Существует также альтернативный подход, основанный на изменении прочности и характера разрушения геоматериалов с глубиной (Гарагаш И.А. и др., Lobkovskiy L.I. et al., White S.H. and Bretan P.G.) и образовании в средней коре механически ослабленных слоев.

Вышеизложенный обзор результатов геолого-геофизических исследований свидетельствует, что в строении литосферы, средней и нижней мантии существуют механически ослабленные (сдвиговые) зоны. Тектоническими процессами охвачена вся мантия, т.е.

и средней, и нижней мантии также присущи тектонические структуры, течения и движения. Серьезное внимание уделено также изучению закономерностей распределения плотности вещества Земли по глубине, т.к. появление аномальных плотностных изменений по глубине считается одним из основных показателей существования разуплотненных слоев с волноводными свойствами. С другой стороны, без знания характера распределения плотности вещества по глубине невозможно определить другие параметры внутреннего строения Земли.

Аномальные плотностные изменения по глубине Земли связываются с химико-фазовыми переходами. Действительно, если термобарические воздействия достигают определенных величин, минералы подвергаются химико-фазовым переходам и происходит скачкообразное увеличение плотности веществ. Это экспериментально подтвержденный факт. До и после достижения этих определенных значений рост уровня термобарических воздействий приводит к росту плотности веществ. Естественно, возникают вопросы: каков механизм приращения плотности веществ по глубине Земли с учетом разуплотненных зон? Каков механизм образования зон разуплотнения по глубине? Возможно ли объяснить эти механизмы в пределах феноменологических подходов? Частично на первый и последний вопросы для глубин средней и нижней мантии и случая изотропных однородных моделей отвечает известная формула Адамса-Вильямсона (Jarkov V.N.), которая в последующем была обобщена и для случая неоднородности, связанной с температурными полями (Kalinin V.A.). Вместе с этим эта формула никак не проясняет второй вопрос и не учитывает основной фактор, приводящий к изменению плотности веществ, давления (напряжения). Этот главный недостаток присущ и методу определения сейсмического параметра Φ , т.к. он определяется с помощью формул классических линейных теорий упругости и волн. Проблема о приращении плотности ниже будет рассмотрена отдельно.

Другим существенным недостатком этих формул является игнорирование физической, геометрической нелинейности и величин (малых и больших) деформирования, т.е. они применимы лишь в случае малых линейных упругих деформаций. В условиях огромных термобарических воздействий, указанные факторы наряду с напряженным состоянием среды оказывают решающее влияние на физико-механические и плотностные свойства.

Накопленный опыт по применению неклассически линеаризированной теории тектонофизики к проблемам современной геодинамики (Абасов и др., 1999, 2000; Кулиев, 2005а, 2005б) и новая модель развития литосферы (Abasov et al.) показывают, что приемлемые ответы на вышепоставленные вопросы, с учетом изложенных недостатков, возможно получить в рамках неклассического линеаризированного подхода.

2. В исследованиях деформационных процессов наряду с классической линеаризацией в малой окрестности начального состояния широкое применение нашла также неклассическая линеаризация в малой окрестности произвольной точки актуального состояния (Biot M.A., Guz A.N.). В рамках этого подхода получается специфическое линейное приближение в нелинейной теории. Специфичность состоит в том, что линеаризация не проводится в малой окрестности конечной точки начального состояния, а производится в малой окрестности произвольной точки актуального состояния. В случае однородных начальных напряженных состояний основные уравнения движения неклассически линеаризированной теории по внешней форме идентичны уравнениям классической теории. Эта идентичность формальна. Во-первых, постоянные коэффициенты, входящие в эти уравнения, формируются линейными и нелинейными физико-механическими свойствами, силовыми, геометрическими параметрами и плотностью среды, которые описывают весь предыдущий процесс деформирования (малые, большие, линейные, нелинейные, упругие, упруго-пластические, упруго-вязкие и др.) и возмущения в малой окрестности рассматриваемой точки. Во-вторых, эти уравнения получаются относительно возмущений. В то же время уравнения классических теорий получаются относительно перемещений начального состояния, входящие в них коэффициенты характеризуют лишь линейные физико-механические свойства среды и плотности. Следо-

вательно, неклассически и классически линеаризированные теории описывают существенно различающиеся процессы. Поскольку первая из них получена путем более последовательной и строгой линеаризации, то при определении параметров внутреннего строения Земли предпочтение должно быть отдано ей. Кроме того, она также является достаточно простой для применения.

В рамках данного подхода предложена концепция неустойчивости в геодинамике, согласно которой все процессы и явления рассматриваются не в традиционной геологической, а как бы в новой геофизической среде. Представляется, что традиционная геологическая среда за геологическое время уже подвержена воздействию различных космогенных, экзогенных (в том числе техногенных) и эндогенных физических полей разнообразной природы и изучаемые процессы и явления происходят на этом фоне, т.е. они рассматриваются в виде возмущения относительно параметров фонового (начального) состояния. Это положение находит отражение в методе линеаризации, в структуре основных уравнений и краевых условий и в методах решения исследуемых задач (Гузь А.Н., Кулиев Г.Г.). В нашем случае фон состоит из медленно – непрерывной эволюции Земного шара. В задаче распределения плотности веществ ее величина на определенной глубине соответствует фону, а ее приращения – аномалии, т.е. возмущению.

В (Пущаровский Ю.М. и Соколов С.Д.) отмечается, что этапы длительного развития Земного шара прерывались кратковременными периодами (эпохами) тектонических деформаций, структурных перестроек и аккрецией. В эти эпохи система находилась в состоянии, далеком от равновесия, которое можно рассматривать как область бифуркации.

Как нам представляется, впервые в наиболее общей постановке проблемы деформационных процессов в геодинамике независимо от их масштабов и природы возникновения были поставлены и исследованы в пределах концепции неустойчивости в (Абасов М.Т., Джеваншир Р.Д., Кулиев Г.Г.). В рамках модели неустойчивости явления бифуркации имеют место не только в общегеологическом эволюционном, но и в любого масштаба современном геодинамическом развитии. Линеаризированный подход (Гузь А.Н., Кулиев Г.Г.) позволяет в выбранной модели определить точки бифуркации, судить о термодинамической ветви и существовании в малой окрестности точки бифуркации того процесса, который исследуется. В (Пущаровский Ю.М. и Соколов С.Д.) отмечается, что ответить на такие вопросы в пределах классической геологии невозможно без использования достижений междисциплинарных теорий. Один из таких подходов базируется на неклассически линеаризированной теории, которая составляет сущность концепции неустойчивости (Кулиев, 2005а, 2005б). В пределах концепции неустойчивости геодинамические процессы на фоне непрерывной эволюции рассматриваются в виде специфических аномалий. Критерии аномальности возмущений геодинамической эволюции определяются путем выделения аномального возмущения в эволюции комбинаций между тремя группами параметров, характеризующими линейные и нелинейные физико-механические свойства среды, геометрию объекта и силовые воздействия различной природы и характера.

При достижении критического состояния этой комбинации, непрерывная геодинамическая эволюция разветвляется, происходят скачкообразные изменения и предшествующее неравновесное состояние переходит к новому неравновесному состоянию. Причем в зависимости от вещественного состава горных пород, слагающих среду в рассматриваемой зоне, и уровня внешнего воздействия смена неравновесных состояний, сопровождающая геодинамическую эволюцию, может наступить на этапах упругих, упруго-пластических, пластических и т.д. стадий деформирования.

Определение критической комбинации между вышеуказанными группами параметров, независимо от реализующегося этапа деформирования, является сложной нелинейной задачей о точке бифуркации нелинейного геодинамического процесса с ветвлениями. В зависимости от преследуемых целей имеются большие классы проблем и задач, где вместо нелинейных задач можно рассматривать неклассически линеаризированные задачи.

Наряду с необходимостью исследования линейных задач с точки зрения практической целесообразности решение самих нели-

нейных задач также требует предварительного рассмотрения соответствующих линейных и линеаризированных задач по следующим причинам. Доказательство существования решений нелинейных задач возмущений основывается на информации о решении задач стационарного состояния (или о состоянии покоя), которое полностью совпадает с классически линейной частью рассматриваемых задач. С другой стороны, доказательство существования решений задач возмущенного состояния полностью совпадает с существованием решений неклассически линеаризированной задачи о собственном значении, минимальное положительное собственное значение которого в определенных случаях соответствует первой точке бифуркации в нелинейной задаче (Кулиев, 2005а). Следовательно, исследование линеаризированных задач имеет фундаментальное значение для решения нелинейных задач с ветвлениями и является практической основой для построения решения нелинейных задач путем последовательных приближений. Кроме того, эти же исследования составляют научную основу теоретического обоснования прямого применения различных численных методов решения к нелинейным задачам.

Для сжимаемых моделей среды основные системы уравнений и краевых условий трехмерной НЛП в лагранжевой системе координат x_i имеют вид (Гузь А.Н.):

$$\frac{\partial}{\partial x_i}\left(\omega_{ij\alpha\beta}\frac{\partial u_j}{\partial x_j}\right)=\rho\frac{\partial^2 u_j}{\partial t^2}\quad i,j,\alpha,\beta=\overline{1,4}\,. \quad (1)$$

Граничные условия в напряжениях

$$N_i\omega_{ij\alpha\beta}\frac{\partial u_\alpha}{\partial x_\beta}\bigg|_{S_i}=P_j\,. \quad (2)$$

Граничные условия в перемещениях

$$u_j\big|_{S_2}=f_j\,. \quad (3)$$

Здесь u_j - компоненты вектора возмущений, P_j - компоненты вектора внешних сил, приложенных в возмущенном состоянии, отнесенные к единице площадки начального деформированного состояния; ρ - плотность материала, $\omega_{ij\alpha\beta}$ - компоненты тензора четвертого ранга, характеризующие линейные, нелинейные физико-механические, реологические свойства среды и начального напряженно-деформированного состояния, которые отличаются для различных упругих потенциалов и для теорий малых и больших деформаций; S_1 и S_2 - участки поверхности рассматриваемого тела; f_j - заданное значение возмущений u_j; N_i - составляющие орта внешней нормали. В случае статических задач в правой части уравнения (1) инерционный член опускается. Аналогичные уравнения записываются и в случае несжимаемых сред с дополнительными условиями несжимаемости.

В (1)-(3) при отсутствии начальных напряжений, формально принимая, что u_α являются перемещениями основного состояния, переходим к основным уравнениям и граничным условиям соответствующих классических линейных теорий.

Вышеприведенные формулы являются основными в НЛП и применимы в общем случае, т.е. как для однородных, так и для неоднородных начальных деформаций на любом этапе упругого, упруго-пластического, упруго-вязкого и т.д. деформирования. Такая формулировка остается в силе также для несжимаемых моделей среды. В последнем случае к формулировке задач добавляется условие несжимаемости среды и вносятся соответствующие изменения в структуре $\omega_{ij\alpha\beta}$.

В отличие от классического подхода здесь решения уравнений наряду с линейными физико-механическими свойствами строятся в зависимости также от величин и характера нелинейных физико-механических свойств, геометрических и силовых параметров. Такое теоретическое расширение представляет дополнительные возможности для создания более адекватных теоретических моделей и обоснованной интерпретации построенных решений. С другой стороны, такой подход позволяет учесть также влияние

блочности (дискретности) деформируемой структуры на изучаемые явления. Этот вопрос актуален в связи с формированием научного представления о геологической среде как дискретном деформируемом твердом теле, состоящем из блоков. Наличия блоков учитываются при решении более простых задач для основного состояния. Эти решения в виде уже известных коэффициентов будут входить в основные уравнения для возмущений, и, следовательно, возмущенные состояния будут определяться в зависимости от блочности структур.

3. Качественный анализ системы уравнений (1) показывает (Гузь А.Н., Кулиев Г.Г.), что она имеет три взаимно перпендикулярных семейства характеристических поверхностей. В сферической системе координат они соответствуют меридиональным, экваториальным и сферически концентрическим семействам поверхностей. При осесимметричном деформировании характеристическими являются также соосные цилиндрические поверхности. В двумерном случае в полярной координатной системе имеются два семейства характеристических линий: радиальных лучей и концентрических окружностей. На этих характеристических линиях и поверхностях основные системы уравнений при определенных соотношениях между физико-механическими и силовыми параметрами вырождаются (Кулиев, 2005а). Оказывается, что при этом на этих линиях и поверхностях деформации терпят разрыв. Наглядным примером, экспериментально подтверждающим этот теоретический вывод НЛП, является хорошо известная картина разрушения лобовых стекол автомобилей при попадании в них камней. Исходя из этих фундаментальных теоретических результатов, в (Абасов М.Т., Джеваншир Р.Д., Кулиев Г.Г.) предложено, что при определенных условиях на определенных этапах эволюционного развития Земли существуют возможности образования разломов на трех перпендикулярных семействах поверхностей. Этот результат подводит теоретическую базу под хорошо известные фактические данные геологии и геофизики. Среди основных структурных элементов в геологии важное место занимают вертикальные глубинные разломы. Эти системы разломов выходят на дневную поверхность Земли и в принципе расположены перпендикулярно друг другу на экваториальных и меридиональных плоскостях. Наблюдаемые отклонения от вертикальности и перпендикулярности связаны с тем, что в отличие от теоретических случаев здесь речь идет о реальных разломах, существующих в структуре сложно-композиционной среды Земли. В (Кулиев, 2005а) сделано предположение о том, что на горизонтальных поверхностях на различных глубинах Земли могут возникать латеральные разломы, соответствующие сферически концентрическим характеристическим поверхностям. Данное теоретическое предсказание созвучно выше рассмотренным геолого-геофизическим фактическим данным о сдвиговых, покровных, надвиговых, волноводных (разуплотненных) и неоднородных структурах, имеющихся в различных геосферах по глубине Земли. Из теоретических результатов следует, что в эволюции Земли, если создаются определенные условия, обязательно должны возникнуть как вертикальные, так и латеральные разломы. Причем в теоретической модели возможность возникновения всех видов поверхностей разрыва равновероятна. В реальном же случае все зависит от множества естественных факторов и действительность иная, т.е. несмотря на то что возникновения разломов на определенных этапах эволюции обязательны, одновременность их появления в силу структурной, плотностной, физико-механической и силовой неоднородности нарушена. Таким образом, в (Кулиев, 2005а) сделан вывод о том, что на различных глубинах Земли должны существовать латеральные разломы, занимающие огромные площади. Естественно, можно предполагать, что некоторые сдвиговые, покровные, надвиговые, разуплотненные зоны и крупные мантийные неоднородности являются латеральными разломами с волноводными свойствами. По крайней мере, разломы либо способствовали образованию таких структур, либо они образовались в результате вышеизложенных процессов. В геомеханическом смысле вертикальные и горизонтальные поверхности разрыва деформаций (которые в результате дальнейшего развития превращаются в огромные разрушенные зоны) друг от друга отличаются лишь в геомет-

рическом отношении. В геологии же вертикальные и латеральные разломы, кроме геометрических параметров, также будут отличаться по генетическим, морфологическим, литологическим, хронологическим и другим геолого-геофизическим параметрам. В качестве основного механизма образования вертикальных разломов считается разрушение среды при растяжении. В то же время основным механизмом образования латеральных структур разломного типа является разрушение среды при сжатии. В связи с этим роли вертикальных разломов и различных латеральных структур типа разуплотненных, сдвиговых, покровных, надвиговых, волноводных и неоднородных зон в динамике эволюции Земли, в различных эндогенных и экзогенных процессах структурообразования значительно отличаются. По-видимому, учитывая эти различия, ученые до сих пор не присвоили название латеральным разломам некоторых ослабленных и разуплотненных зон в недрах Земли, в противовес вертикальным, хотя по основным критериям (глубинности, протяженности и длительности) они почти идентичны.

В геологических исследованиях одним из основных механизмов реализации процессов разрушения в мантии, которые впоследствии превращаются в сквозьмантийные каналы и сублатеральные зоны срыва, считаются дифференцированные тектонические перемещения мантийных масс под действием энергетических градиентов (Пущаровский Ю.М.). Предполагается, что конвективные потоки путем механического захвата отдельных блоков мантии разрушают ее слоистую структуру, в результате чего образуются сквозьмантийные плюмы. Тектоническое течение и движение объемов мантии в особо плотных и жестких средах по субгоризонтальным поверхностям приводят к образованию зон срыва.

На наш взгляд, существуют и другие механизмы образования структур разломного типа, непосредственно не связанные с предположением о движении мантийных масс и горных пород в верхних частях Земного шара. Природа напряжений в геомеханической модели принципиальной роли не играет, она будет влиять только на соответствующие механизмы образования разломных структур. В (Кулиев Г.Г. и др.), основываясь на результатах исследования механизма разрушения слоистых композитных материалов (Гузь А.Н.), предложено, что одним из возможных механизмов образования латеральных разломов в недрах Земли могут быть разрушения с расслаиванием (размочаливания) при различных напряженных состояниях. В результате расслаивания образуются новые поверхности и пустоты между ними. Дальнейший рост величин напряжений (который может быть обусловлен различными эндогенными, в том числе тектоническими и космогенными процессами) приводит к хрупкой, пластической и т.д. приповерхностной неустойчивости и разрушению (Кулиев, 2005а). Вследствие смены состояний равновесия (возможность которой возникает с появлением новых поверхностей расслаивания) происходят процессы обрушения и обвала приповерхностных слоев слоистой среды раньше, чем напряжения достигают предела прочности. При этом образованные в результате расслаивания пустоты заполняются разуплотненной средой. С другой стороны, неустойчивость может быть причиной реидной деформации по образованной разломной зоне. Такой механизм – один из возможных. Могут быть и другие механизмы. Например, путем нагнетания более пластичные и подвижные вещества могут быть мигрированы в эти пустоты. Можно предположить, что именно латеральные разломы создают возможность существования реидных деформаций и перемещений огромных масс по горизонтали.

Как было отмечено выше, в случае осесимметричного деформирования при достижении критического напряженно-деформированного состояния разрушение происходит по цилиндрической поверхности. При дальнейшем развитии могут происходить потери устойчивости состояния равновесия цилиндрической части по общей, а приразломной зоны – по поверхностной форме. В результате цилиндрическая разломная зона заполняется более разуплотненной средой. В такой обстановке создается предпосылка для превращения некоторых таких зон в сквозьмантийные каналы плюмов, а в верхних геосферах – в диапиры, в субвертикальные разуплотненные тела и в каналы вулканов и т. д.

В тех глубинах, где температура близка к температуре плавления, более разуплотненная (разрыхленная) среда, расплавляясь, превращается в разжиженную массу. Дальнейшая дифференциация напряженного состояния способствует движению этой разжиженной среды, и таким образом происходит массопоток, т.е. тектоническое течение. Вследствие возникновения разжиженной массы, в рассматриваемой зоне повышается устойчивость состояния равновесия, т.к. в деформируемой системе появляются неконсервативные поверхностные воздействия. Разжиженные среды, аналогично жидким, принимают и передают внешние силы как неконсервативные (при быстрых изменениях формы границы силы успевают сохранить свои величины и направления действия). Следовательно, образованные структуры разломного типа и массопоток по ним существуют длительно.

Сделанные в рамках неклассического линеаризированного подхода заключения о возможности образования структур разломного типа, о механизмах их образования и заполнения пустот более разуплотненными средами напрямую связаны с главенствующей ролью дифференциации напряженного состояния. В геологическом же смысле речь идет о роли тектоники, т.е. эти результаты в случае рассмотрения мантии созвучны с предложением (Пущаровский Ю.М., Дортман Н.Б.) о том, что тектонические явления играют важную роль также в средних и нижних мантийных процессах.

В геологии и геофизике структуры разломного типа (спреддинговые зоны, рифты, трансформные, демаркационные, магистральные, косые разломы, зоны субдукции, коллизии, листирические разломы, шовные зоны, сутуры и т.д.) являются одним из основных объектов исследования. Вопросы, связанные с образованием и развитием структур разломного типа, их роли в геодинамике, тектонике и вообще в развитии литосферы и в эволюции Земного шара, в вышеперечисленных и др. работах учеными рассмотрены с различных точек зрения. Число публикаций по данной тематике огромно. Здесь упомянуты ссылки лишь на обобщающие работы последних лет, идеи и результаты которых в той или иной степени созвучны вышеизложенным результатам НЛП и в определенном смысле являются фактическими подтверждениями ее отдельных выводов. Не останавливаясь на обсуждении результатов этих работ, вдобавок к изложенному во введении обзора, ниже приводим несколько доводов, подкрепляющих наше представление.

В серии работ (Пущаровский Ю.М. и Пущаровский Д.Ю.), при анализе результатов сейсмотомографических исследований, сделан вывод о том, что Земной шар состоит из различных геосфер. Отмечается, что главной особенностью внутригеосферных геодинамических обстановок является их неустойчивость, вызывающая тектонические подвижки, что выражается субгоризонтальными тектоническими срывами. Указывается, что мантийные сейсмонеоднородности как по размерам, так и по форме весьма изменчивы. Они могут достигать многих тысяч километров в линейных размерах. Объемная конфигурация сейсмонеоднородностей и их взаимосвязь в пространстве указывают на материальное движение масс по субгоризонтальным зонам срыва в особо плотных и жестких средах.

На основе фактических сейсмических материалов, относящихся к территориям России и Западной Европы, считается (Enderle U. et al.), что граница Мохо должна рассматриваться как зона тонкого переслаивания пород с мантийными и коровыми свойствами, и что эта зона является, вероятно, зоной дифференциального перемещения коры относительно мантии глобального масштаба. Предполагают, что такие срывы наиболее вероятны в обстановке коллизионных орогенов, континентальных рифов и трансформных разломов типа Сан-Андреаса. Корни этой проблемы восходят к тектонико-кинематической идее (Пейве А.А. и Пущаровский Ю.М., Пущаровский Ю.М.) о «проворачивании» мантийных оболочек относительно друг друга.

Показано (Павленкова Н.И.), что земной коре присуща блоковая делимость, которая на континентах достигает глубин 100 км.

Установлено (Николаев А.В. и Санина И.А.), что в верхней мантии Гиндукуша и Памира сложное сочетание высокоскоростных и низкоскоростных объемов пород напоминает расслоенную коровую часть разреза.

В (Feng R. and McEvilly T.V.) сделан вывод о том, что разлом Сан-Андреаса на глубине 15-20 км, выполаживаясь, превращается в субгоризонтальную поверхность срыва.

В (Resovsky J.S. and Ritzwoller M.H.) показано, что мантия состоит из множества геосфер и средняя мантия обладает большой пестротой в сейсмоструктуре. Причиной этого считаются встречные движения восходящих мантийных масс из нижних геосфер и нисходящих из верхних.

Существуют пассивные и активные модели рифтогенеза (Леонов Ю.Г., Olsen K.H., et al.). Согласно активной модели, рифты образуются путем поднятия мантийного вещества, утонения коры, возникновения растягивающихся усилий и раскола коры. В пассивной модели считается, что коровые напряжения вызывают трещины, которые, развиваясь, образуют рифты и при этом формируются остенолиты. Остенолиты поднимаются в результате декомпрессии, возникающей при расколе литосферы.

Проблемы внутренней объемной подвижности фундамента и ее роли в структурно-тектонической и структурно-вещественной эволюции земной коры и различных геоструктур (Леонов М.Г.), механизмы адвективного течения (Гончаров М.А.), процессы тектонического течения и роль пластической деформации, как одного из ведущих структурообразующих процессов (Лукьянов А.В.), экспериментальное и фактурное обоснование тектонических потоков (Миллер Ю.В., Jaeger H.M. and Nagel S.R.) на основе экспериментальных и теоретических исследований создания представления о тектонических потоках и их реальное значение в формировании структуры земной коры (Паталаха А.И. и др.) так или иначе основаны на предположении о существовании различных разуплотненных, подверженных к существенно большим деформациям сдвиговых зон.

Доказано (Леонов М.Г.), что существуют различные механизмы, обеспечивающие реидное поведение горных масс. Считается, что основными из них являются пластическая, хрупкая, макросколовая (блоковая) и микросколовая (кливажная) деформации, меланжирование, дезинтеграция и катаклаз, динамическая рекристаллизация и течение гранулированных сред (Jaeger H.M. and Nagel S.R.). Показателем подвижности пород служат пликативные изгибы верхней поверхности фундамента, глубинные диапиры, криссталические протрузии и признаки тектонической расслоенности верхне- и нижне-корового слоев и т.д.

Существования субвертикальных деструктивных зон и геологических тел в верхних частях коры в Западно-Сибирском бассейне и в Южно-Каспийской впадине соответственно рассмотрены в (Бембель Р.М. и др., Мамедов П.З. и Гулиев И.С.).

К настоящему времени предложен целый ряд сейсмотомографических моделей мантии Земли. Установлена общая дисгармония строения мантии и существование наряду с концентрическими геосферами Земли также и радиальных элементов глубинной структуры: сквозьмантийных суперплюмов легкого горячего материала – апвеллингов и компенсирующих их даувеллингов плотных и холодных масс (Меланхолина Е.Н. и др.). Считается, что в ряде зон верхней мантии существенный вклад в изменение скоростных характеристик вносится также за счет разуплотнения или же уплотнения и создания напряженного состояния среды в ходе деформаций.

Считается, что по причине реологической расслоенности земной коры происходит ее листрическое раскалывание (Георгобиани и Закарая Д.П., Паталаха Е.И. и др., Хаин В.Е. и Ломизе М.Г., Шишкин Е.И. и Шишкина Т.Ю.). Принято, что при пересечении сверху вниз областей хрупко-пластического и пластического разрывообразования глубинные разломы постепенно меняют углы падения своих плоскостей от крутых до пологих, вследствие чего они приобретают листрическую морфологию.

Разделительные зоны между различными геосферами, с одной стороны, играют барьерную роль при взаимодействии геодинамических режимов смежных геосфер, с другой стороны, они способствуют существенным изменениям структурно-тектонических процессов из-за влияния соседних геосфер (Хаин В.Е., Anderson D.L., Hamilton W., Kumazowa M. and Marnyama S.).

Современные движения земной коры по GPS-измерениям изучены (Алешин А.С. и Галаганов О.Н., Гордеев Е.И. и др., Левин В.Е. и др., Трифонов В.Г., Трифонов В.Г. и Певнев А.К., Шевченко В.И. и др., Barka A. and Reilinger R., Beutler et al, Calais E. and Amarjargal, DeMets C.H. et al., Gent G. et al., Oral M.B. et al., Reilinger R.E. et al., Rothacher M. et al., Takahashi H. et al.) и их результаты свидетельствуют об относительном движении жестких плит. Характер распределения вектора скорости движения на границах континентов и океанов, в континентальных частях плит и в обширных областях взаимодействия плит существенно отличаются. Повышенная способность пограничных поясов к тектонической деформации проявляется в зонах крупнейших активных разломов, таких как Северо-Анатолийской на границе Евразийской и Анатолийской плит, Восточно-Анатолийской между последней и Аравийской плитой, системы Сан-Андреас между Тихоокеанской и Северо-Американской плитами и т.д. (Трифонов В.Г. и Певнев А.К.). Результаты GPS-измерений используются при изучении задач тектоники (Алешин А.С. и Галаганов О.Н., Гордеев Е.И. и др., Левин В.Е. и др., Шевченко В.И. и др., Barka A. and Reilinger R.), характера межплитовых сцеплений и реологических эффектов в мантии (Гордеев Е.И. и др.), для идентификации среднесрочных деформационных предвестников землетрясений, основанных на сопоставлении закономерностей распределения перемещений во времени и после землетрясений по разломам и по механизмам очага землетрясений (Гордеев Е.И. и др., Левин В.Е. и др., Reilinger R. et al.), мониторинге строительных работ (Алешин А.С. и Галаганов О.Н.) и т.д.

Существуют теоретические модели (NUVEL-1, NNR-NUVEL-1, NUVEL-1A, NNR-NUVEL-1A) интерактивного расчета кинематических параметров (скорости и направления движения одной плиты относительно другой) движения литосферных плит по структурам разломного типа (DeMets C.H. et al.).

Здесь уместно также остановиться на тезисе об относительной нелинейности, открытости саморазвивающейся диссипативной системы Земли, сформулированном в различных работах (Пущаровкский Ю.М. и Соколов С.Д., Фундаментальные проблемы общей тектоники, Abasov M.T. et al., Кулиев Г.Г., 2005a). Распространяя эти идеи на все геосферы и на все процессы локальных структурообразований, необходимо рассматривать их также как открытые нелинейные и диссипативные системы. При этом проблемы автономного развития литосферы, мантии и т.д. и первичности их влияния, которые обсуждаются в различных работах (Хаин В.Е., Anderson D.L., Hamilton W.), становятся беспредметными. В силу открытости этих систем процессы, происходящие в них, обязательно в той или иной степени интенсивности и масштаба взаимодействуют друг с другом. Например, вследствие образования в литосфере структур разломного типа происходят изменения в граничных условиях конвективных зон, что непременно видоизменит конвективный процесс. До этого конвективный процесс в рассматриваемом месте участвовал в образовании разлома (например, в спреддинговых или в плюмовых зонах и т.д.). Естественно, что процессы, происходящие в литосфере и в верхней мантии, в большой степени взаимодействуют друг с другом. Аналогичное утверждение будет справедливо для процессов в верхней и средней мантии и т.д. Процессы, происходящие в литосфере и в средней мантии, взаимодействуют посредством процессов в верхней мантии, которые независимо от их величины, масштаба и длительности являются необходимыми. Так происходит и во всех других сферах. В связи с этим нет необходимости искусственно повышать значение экзогенности (в том числе космогенности) либо эндогенности причин происходящих в эволюции Земли процессов. Главное – то, что они взаимодействуют.

Аналогичный вывод следует также из концепции вечного круговорота материи и из общих физических принципов геодинамической эволюции Земли (Кулиев, 2002).

4. В рамках общей нелинейной теории механики деформируемых твердых сред получено (Кулиев и Аскеров, 2007) точное решение задачи о приращении плотности сред с ростом деформации. НЛП позволило сущест-

венно уточнить характер распределения плотности веществ по глубине и выяснить механизм этого процесса (рис.1). При соответствующем моделировании формы гармонических волн, т.е. в случае использования «истинных» скоростей, в рамках всех вариантов теории начальных деформаций предсказано новое явление: с ростом деформаций с глубиной Земли для отдельных типов геологических сред может возникнуть переход процесса уплотнения в процесс разуплотнения.

Такой теоретический результат в рамках феноменологического подхода позволяет внести существенно новое дополнение к фундаментальному классическому представлению о распределении плотности веществ Земли по глубине (рис.2). По неклассическому представлению приращение плотности с глубиной прекращается процессом разуплотнения, дальнейшее приращение плотности начинается с этого состояния.

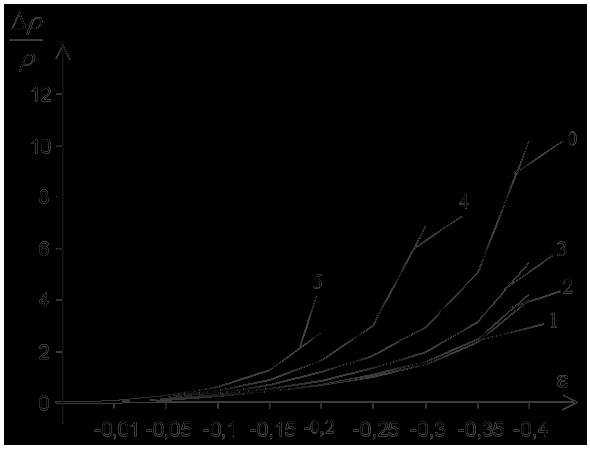


Рис. 1. Графики приращения плотности в случае трехмерного неравномерного деформирования: линия 0 – $\alpha = \beta = \gamma = 1$; линия 1 – $\alpha = \beta = 1$, $\gamma = 0{,}01$; линия 2 – $\alpha = \beta = 1$, $\gamma = 0{,}1$; линия 3 – $\alpha = \beta = 1$, $\gamma = 0{,}5$; линия 4 – $\alpha = \beta = 1$, $\gamma = 1{,}5$; линия 5 – $\alpha = \beta = 1$, $\gamma = 2$; $\varepsilon_1 = \alpha\varepsilon$, $\varepsilon_2 = \beta\varepsilon$, $\varepsilon_3 = \gamma\varepsilon$

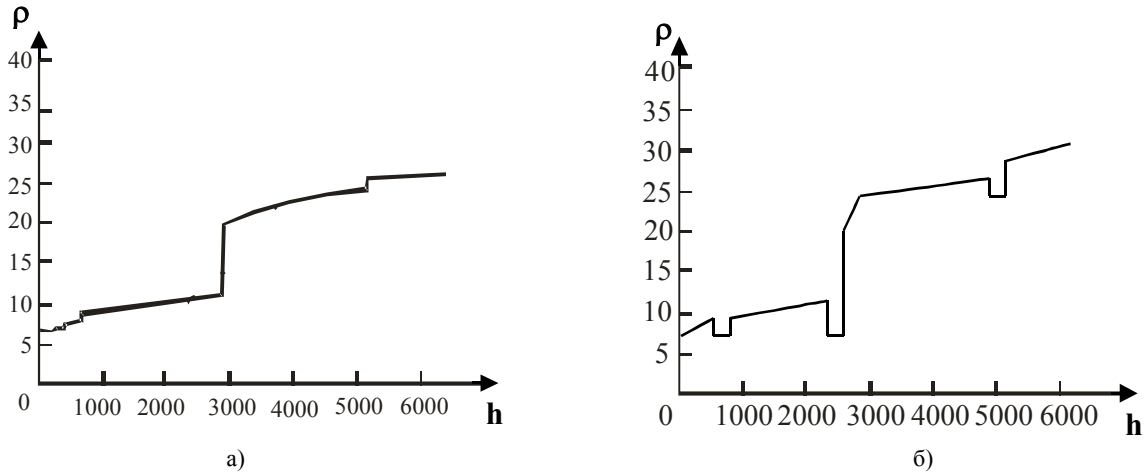


Рис. 2. Схема распределения плотности вещества Земли по глубине:
а) классическое представление; б) неклассическое представление

Анализ полученных теоретических результатов показывает, что пространственная дифференциация напряжений и нелинейность процесса деформирования играют решающую роль, как в формировании структурных элементов, так и в протекании тектонических процессов.

Выводы

На основе анализа результатов качественной теории систем дифференциальных уравнений НЛП и большого объема известных и опубликованных геолого-геофизических материалов сделан вывод о том, что в процессе эволюции Земли на меридиональных, экваториальных и концентрически сферических поверхностях должны появиться как вертикальные, так и латеральные структуры разломного типа, соответствующие фундаментальным характеристикам модели деформируемой системы. Показано, что одним из механизмов образования латеральных разло-

мов может быть разрушение с расслаиванием искривленной структуры слоистой геосреды (layered medium), а образующиеся при этом пустоты могут заполняться разрушенной средой вследствие поверхностной неустойчивости приразломных зон. На определенных глубинах существующий температурный режим может быть достаточным для расплавления этой разрушенной (разуплотненной) среды, т.е. разжижения. Поскольку образованная таким образом разжиженная масса принимает и передает внешнее воздействие как неконсервативная система, то она сможет геологическое время препятствовать залечиванию образованных разломов. С другой стороны, в результате последующих неустойчивостей состояния равновесия эта разжиженная масса приобретает движение и по вертикальным и латеральным разломам происходит разномасштабный массопаток, что за геологическое время может являться альтернативным источником тектонических движений как в литосфере, так и в мантии.

При определенных критических комбинациях между силами воздействий различной природы (независимо от того, являются ли они внутренними или внешними), геометрических и деформационных (которые также имеют разнообразную физико-механическую, реологическую, термодинамическую, химическую и т.д. природу) параметров, такие глобальные, региональные и локальные структуры на меридиональных, экваториальных и сферически концентрических поверхностях должны образовываться в коре, литосфере, средней и нижней мантии (т.е. в слоистой оболочке, ограничивающейся атмосферой и жидким внешним ядром Земли).

Возможность таких процессов доказана также точным решением нелинейной задачи о приращении плотности вещества Земли с ростом деформации. Установлено, что для ряда горных пород это решение неустойчиво, т.е. существует возможность перехода процесса уплотнения веществ Земли в процесс разуплотнения с ростом глубины.

ЛИТЕРАТУРА

АБАСОВ, М.Т., КУЛИЕВ, Г.Г., ДЖЕВАНШИР, Р.Д. 1999. Неклассическая теоретическая модель структурного развития литосферы. *Известия НАНА. Науки о Земле,* 2, 149 – 162.

АБАСОВ, М.Т., КУЛИЕВ, Г.Г., ДЖЕВАНШИР, Р.Д. 2000. Модель развития литосферы. *Вестник Российской Академии Наук*, 70, 2, 129 – 135.

КУЛИЕВ, Г.Г. 2002. Вечный круговорот материи. Элм. Баку.

КУЛИЕВ, Г.Г. 2005а. Основы неклассической линеаризированной теории деформаций в геодинамике. *Известия НАНА. Науки о Земле,* 1, 21 – 34.

КУЛИЕВ, Г.Г. 2005б. Неклассическая линеаризированная теория деформаций в геофизике. *Известия НАНА. Науки о Земле,* 2, 41 – 51.

КУЛИЕВ, Г.Г., АСКЕРОВ, А.Д. 2007. *Известия НАНА, Науки о Земле*, 1, 38 – 50.

РАЗРАБОТКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕФТИ И ГАЗА

© М.Т.Абасов, Г.И.Джалалов, 2008

ВОПРОСЫ ПОДЗЕМНОЙ ГИДРОГАЗОДИНАМИКИ

М.Т.Абасов, Г.И.Джалалов

Институт геологии НАН Азербайджана
AZ1143, Баку, просп. Г.Джавида, 29А

В статье дан реферативный обзор результатов некоторых научных исследований в области подземной гидрогазодинамики, проводимых известной научной школой в области разработки месторождений нефти и газа – учёными бывшего Института Проблем Глубинных Нефтегазовых Месторождений НАНА, ныне работающими в Институте Геологии.

В 2003 году Институты Геологии и Проблем глубинных нефтегазовых месторождений (ИПГНГМ НАНА) были объединены в Институт Геологии. К этому времени в ИПГНГМ уже существовала признанная в бывшем СССР и мире научная школа в области разработки месторождений нефти и газа, а сам ИПГНГМ был головным Институтом в этой области в системе АН СССР.*

Научные исследования в области разработки месторождений нефти и газа охватывали следующие направления: нефтепромысловая геология и геофизика; физикохимия и термодинамика пласта; подземная гидрогазодинамика; методы повышения нефтеотдачи пласта; принципы и методы проектирования и совершенствования разработки месторождений нефти и газа; отраслевая экономика и другие связанные с ними проблемы и вопросы. Создателем и руководителем этой школы является академик НАН Азербайджана, член-корреспондент РАН М.Т.Абасов.

В настоящей статье реферативно излагаются некоторые результаты исследований лишь в области подземной нефтегазовой гидрогазодинамики, выполненных учеными этой школы. Они излагаются по направлениям и надо подчеркнуть, что каждое исследование в свое время имело большое значение. Ссылками указаны авторы публикаций. Активными членами этой школы в рассматриваемой области были Абасов М.Т., Азизов Х.Ф., Азимова С.С., Азимов Э.Х., Алекперов С.И. Бабанлы В.Ю., Гаджиев М.А., Гасанов Ф.Г., Джалалов Г.И., Джалилов К.Н., Джафаров Н.Д., Ибрагимов А.М., Ибрагимов Т.М., Караева Н.Т., Керимов З.А., Кулиев А.М., Кулиева З.Б., Мамедов О.А., Мамедов А.М., Мамиев В.С., Оруджалиев Ф.Г., Расулов М.А., Рустамов Я.Р., Фейзуллаев Х.А., Шихалиев М.И., Эфендиев Р.М., Юнусов Я.Г. и др.

Приведенные ниже результаты получены развитием отдельных исследований выдающихся советских и зарубежных ученых в этой области: Л.С.Лейбензона, М.Маскета, Миллионщикова М.Д., Христиановича С.А., И.А.Чарного, В.Н.Щелкачева, Б.Б.Лапука, Е.М.Минского, М.Д.Розенберга и др. Некоторые же из рассмотренных вопросов были впервые сформулированы и решены представителями нашей научной школы.

I. Впервые в мире дифференциальные уравнения бинарной модели фильтрации газоконденсатной смеси с полным учетом реальных свойств и взаиморастворимости фаз независимо друг от друга были предложены Абасовым М.Т. с учениками в Баку и Князевым В. и Невиллом С. во Франции [14, 34].

Они позволили создать гидрогазодинамические научные основы разработки газоконденсатных месторождений и предложить комплекс гидрогазодинамических методов оп-

* Единственный Институт в системе АН Азерб.ССР, который был головным в АН СССР за весь советский период республики

ределения технологических показателей разработки газоконденсатных месторождений [34]. При этом:

- было предложено уравнение притока газоконденсатной смеси к скважине в однородном и неоднородном по коллекторским свойствам пласте, позволяющее прогнозировать изменение дебита газоконденсатных скважин и показателей процесса истощения газоконденсатных залежей во времени;

- было установлено влияние на процесс истощения газоконденсатной залежи наличия и количества связанной воды, состава пластовой углеводородной системы, характера зависимости относительных фазовых проницаемостей от насыщенности, изменения свойств флюидов с падением пластового давления, депрессии на пласт, несоответствия начального пластового давления давлению начала конденсации, неравенства средневзвешенных и контурных давлений и насыщенностей, неравномерности размещения скважин и неоднородности пластов по коллекторским свойствам в пластах различных форм;

- были решены задачи и исследован процесс вытеснения газоконденсатной смеси водой при различных проявлениях водонапорного режима; предложена методика определения показателей разработки газоконденсатных залежей на водонапорном режиме, учитывающая фильтрацию газоконденсатной смеси, неполноту вытеснения ее водой, изменение фильтрационных сопротивлений для воды в области внедрения, возможную неравномерность размещения скважин, неоднородность пластов по коллекторским свойствам, форму залежей;

- были сформулированы принципы нового подхода к вопросам схематизации залежей по форме, и даны газогидродинамические методы прогнозирования технологических показателей при различных системах размещения скважин;

- на основе бинарной модели фильтрации газоконденсатной смеси и специальных термодинамических исследований был разработан приближенный подход и алгоритм расчета процесса извлечения конденсата из призабойной зоны скважины путем его испарения закачанным «сухим» углеводородным газом. При этом, естественно, был исследован процесс и установлены закономерности накопления ретроградного конденсата и распределения давления в призабойной зоне скважины. На примере конкретного объекта расчетами была показана высокая технологическая эффективность данного процесса даже на завершающем этапе разработки конкретного газоконденсатного месторождения [3,4];

- с учетом многокомпонентности, фазовых превращений и идентификации относительных фазовых проницаемостей по данным изменений фактических показателей эксплуатации скважин была создана новая методика определения технологических показателей разработки газоконденсатных залежей в естественных режимах при различных методах воздействия на залежь и на призабойную зону скважин [3,19];

- были даны газогидродинамические расчетные формулы проектирования разработки газоконденсатнонефтяных и газонефтяных месторождений при различных методах их эксплуатации при естественных режимах, а также при законтурной закачке воды, барьерном заводнении и обратной закачке «сухого» газа в газоконденсатную область залежи [34];

- были предложены эффективные разностные схемы, в том числе схемы с повышенным порядком точности, для решения газогидродинамических задач разработки газоконденсатных залежей. На их основе были даны оценки приближенным решениям;

- были также созданы расчетные методы повышения компонентоотдачи газоконденсатного пласта на базе модели трехфазной фильтрации бинарной углеводородной смеси, основанные на эффекте испарения низкомолекулярных компонентов ретроградного конденсата при вытеснении газоконденсатной смеси водой [19];

- был проведен комплекс исследований по газо- и конденсатоотдаче газоконденсатных залежей, позволивший установить влияние различных природных и технологических факторов на степень извлечения газа и конденсата;

- были выписаны модели течения газоконденсатной смеси в трещиноватых и трещиновато-пористых пластах и исследован широкий круг вопросов в области разработки газоконденсатных залежей в трещиноватых коллекторах [24];

- были проведены исследования в области повышения конденсатоотдачи пластов;

- была создана первая автоматизированная система проектирования разработки газоконденсатных месторождений на газовом режиме;

- был исследован процесс фильтрации летучей нефти и был проведен широкий круг газогидродинамических исследований в области разработки месторождений летучих нефтей;

- был разработан комплекс методов прогнозирования технологических показателей разработки газоконденсатнонефтяных залежей в различных условиях их залегания и эксплуатации;

- были установлены условия особого учета многокомпонентности газоконденсатных систем;

- были проведены работы по построению гидрогазодинамических моделей газоконденсатных залежей и их адаптации к эксплуатационным данным [25].

Основные научные положения данного направления и разработанные расчетные схемы нашли широкое применение в практике проектирования разработки газоконденсатных и газоконденсатнонефтяных месторождений Азербайджана, Туркмении и других стран, а также в решениях различных государственных комиссий и Научного Совета АН СССР.

II. Были усовершенствованы гидродинамические расчетные методы разработки нефтяных месторождений при режимах растворенного газа и вытеснения газированной нефти водой при смешанных режимах их разработки с учетом неравенства контурных и средних значений пластовых давлений и насыщенностей. При этом были разработаны методы определения фиктивной вязкости нефти для расчетов вытеснения газированной нефти водой. Были исследованы случаи учета неоднородности пластов по проницаемости, а также их многопластовость [32,33].

Разработанные методы нашли применение при составлении различных документов по разработке таких морских месторождений нефти и газа Азербайджана, как Грязевая Сопка, Южная, Нефтяные камни и др.

III. Были созданы новые и эффективные гидродинамические методы изучения фильтрационных процессов в многопластовых месторождениях нефти и газа, залегающих на больших глубинах, на морских акваториях и других сложных природных условиях (аномально высокие пластовые давления, высокая производительность скважин, высокие устьевые давления и т.д.)

Сформулированы и решены гидрогазодинамические задачи регулирования разработки многопластовых месторождений нефти и газа при различных режимах и методах их эксплуатации. На основе двух моделей многопластового месторождения, предусматривающих изолированность и неизолированность слагающих его пластов, были разработаны методы гидрогазодинамических расчетов по установлению во времени режимов эксплуатации или заводнения, обеспечивающих регулируемое дренирование отдельных пластов. Полученные решения позволяли реализовать различные принципы регулирования разработки подобных месторождений нефти и газа, способствующие повышению нефтегазоотдачи по отдельным пластам и в целом по месторождению [30]:

- впервые были предложены приближенные методы гидрогазодинамических расчетов по установлению условий регулируемого дренирования и технологических показателей разработки отдельных взаимосвязанных нефтяных и газовых пластов при различных проявлениях водонапорного режима. При этом, например, было установлено существенное влияние межпластовых перетоков на условия равноскоростной выработки и срок разработки многопластового месторождения. Было показано, что возможности реализации условий равноскоростной выработки взаимосвязанных пластов могут быть ограничены технологическими и природными факторами.

- была разработана методика установления закона распределения заданного отбора нефти и газа между пластами, обеспечивающего необходимый темп выработки отдельных нефтяных и газовых пластов многопластового месторождения с регулируемым обводнением слагающих пластов в условиях вытеснения газированной нефти и газа водой при упруго-водонапорном режиме. Установлена особенность динамики отбора нефти и газа из отдельных пластов при различных фильтрационных и емкостных их параметрах.

- была предложена методика установления режимов нагнетания воды для отдельных

пластов, которые обеспечивают нужную скорость перемещения водонефтяного контакта по разрезу многопластового месторождения, состоящего из изолированных пластов с различными коллекторскими свойствами. С учетом наличия в пластах системы скважин, а также неполноты вытеснения нефти водой были получены расчетные формулы для определения во времени условий регулирования при вытеснении водой несжимаемой и газированной нефти.

- была решена задача о притоке жидкости к скважине в слоисто-неоднородном пласте при условии одновременно-раздельной эксплуатации пластов. По полученным формулам расчетным путем исследовано возможное увеличение дебита нефти слоисто-неоднородных пластов при их одновременно-раздельной эксплуатации.

- были сформулированы и исследованы различные гидродинамические задачи регулирования перемещения контура нефтеносности и обводнения скважин в неоднородных по проницаемости (однопластовых и многопластовых) месторождениях при наличии многорядных батарей скважин в условиях одностороннего и двухстороннего питания. Разработаны расчетные модели по установлению во времени режимов эксплуатации или заводнения, обеспечивающие регулируемое дренирование отдельных пластов. В частности, рассмотрены случаи совместной и одновременно-раздельной эксплуатации пластов скважинами при обеспечивании равноскоростных перемещений водо-нефтяной границы в отдельных пластах либо в условиях соблюдения одновременности прорыва воды к скважинам по всем пластам, либо в условиях одинакового процента обводненности скважин. При исследовании этих вопросов предполагалось, что месторождения состоят из изолированных друг от друга или имеющих связи через гидравлические окна зонально-неоднородных пластов в условиях одностороннего, двухстороннего или площадочного заводнения. Были предложены расчетные формулы распределения давлений и зависимости, обеспечивающие регулируемую разработку многопластового месторождения; были произведены расчеты и установлено влияние основных факторов на изучаемые процессы [13].

В точной наиболее общей постановке и точными методами был решен целый ряд актуальных задач подземной гидродинамики о нестационарной фильтрации флюида к скважине (смоделированной как точечный сток или как скважина конечного радиуса с учетом скин-фактора и без), вскрывшей два или более бесконечных пластов с разными (а в частном случае и равными) начальными пластовыми давлениями. Получены удобные для вычисления расчетные формулы для определения локальных дебитов (доля индивидуальных пластов в общем заданном дебите скважины) и распределения давления пласта, позволившие качественно и количественно исследовать различные аспекты определения параметров многопластовых месторождений [7,10,36].

Были получены точные аналитические решения задач о притоке жидкости к центральной скважине, моделирующейся точечным источником и вскрывшей совместно два изолированных пласта с заданным давлением на контуре или же непроницаемой внешней границей.

На базе полученных решений в широком диапазоне изменения исходных параметров, а именно: отношений гидро- и пьезопроводности пластов и разности начальных пластовых давлений, была проведена серия вычислительных экспериментов для гипотетических залежей, что послужило основой для осуществления эффективного качественного и количественного анализа процесса фильтрации в многопластовых залежах применительно к задачам определения параметров как залежи целом, так и слагающих пластов, а также для оценки точности существующих в литературе приближенных подходов к решению задач фильтрации в различных условиях. Задачи эти были решены при помощи разработанных авторами новых оригинальных приемов.

Был решен ряд прямых задач подземной гидродинамики по определению показателей разработки многопластовых нефтяных месторождений со слабопроницаемой перемычкой, разрабатываемых системой скважин в строгой и приближенной постановке [38].

IV. Были развиты теоретические основы и методы интерпретации результатов гидрогазодинамических исследований скважин [8]:

- впервые было установлено и количественно оценено существенное (сопоставимое с

влиянием изменения давления) влияние неизотермичности процесса фильтрации и обусловленного им изменения физических свойств флюида и коллектора на характер стационарного и нестационарного течения к скважине;

- были аналитически обоснованы и практически подтверждены для нефтяных, газовых и газоконденсатных скважин, вскрывших различные типы залежей, наиболее вероятные формы индикаторных линий, определяющих начальную и текущую продуктивность скважин;

- была создана с учетом всей совокупности влияющих факторов универсальная методика интерпретации результатов гидрогазодинамических исследований скважин при установившихся режимах, позволяющая обрабатывать, по существу, все встречающиеся на практике виды индикаторных линий с целью определения интегральных характеристик и качества вскрытия пласта;

- было изучено изменение вязкости, объемного коэффициента нефти, проницаемости и работающей мощности пласта от давления и температуры и исследовано их влияние на процесс стационарного притока нефти к скважине при различных законах и условиях фильтрации, а также на форму индикаторных кривых;

- была разработана общая методика обработки данных исследования нефтяных скважин, позволяющая по характеру изменения коэффициента продуктивности скважин от депрессии более надежно и достоверно определять фильтрационные параметры пласта и коэффициенты, характеризующие влияние изменения физических свойств нефти и коллектора от давления и температуры, а также инерционных сил. Независимо от типа коллектора (трещиноватый или пористый) и условий фильтрации (газированная или однофазная нефть) дана общая классификация известных на практике форм индикаторных кривых.

Были разработаны новые способы определения давления насыщения нефти газом. Так, например, один из них, выполненный на уровне изобретения, был основан на данных промысловых исследований скважин.

Была предложена методика совместного использования результатов гидротермодинамических и геофизических исследований скважин. Суть предлагаемой методики заключалась в определении гидродинамических параметров с учетом изменяющейся в процессе разработки термобарической обстановки в пласте, при этом решались задачи послойного определения фильтрационных и продуктивных характеристик многопластовых залежей нефти; определялись средние значения проницаемости залежи в условиях ограниченного объема проведенных гидродинамических исследований; устанавливались зависимости между обводненностью скважин и средней текущей водонасыщенностью пласта при неравномерном вытеснении нефти водой по разрезу; прогнозировались возможные дебиты скважин, бурящихся для доразработки зон с остаточным нефтенасыщением [5].

Была разработана новая методика интерпретации кривых восстановления давления (КВД) нефтяных, газовых и газоконденсатных скважин, позволяющая по данным кратковременной их остановки, с учетом и без учета переменного притока к забою скважины определять, по существу, все фильтрационные и геометрические характеристики терригенного пласта, такие как: коэффициент продуктивности скважин, гидропроводность (газопроводность) пласта, комплексные параметры $æ/r_c^2$, $æ/r_к^2$, $гк/r_c$ (æ- пьезопроводность пласта; $r_к$ и r_c – соответственно приведенный радиус скважины и радиус контура питания), а также значение пластового давления, соответствующего времени полного восстановления. При известных значениях мощности и упругоемкости пласта можно было еще определять пьезопроводность пласта, радиус контура питания и приведенный радиус скважины [8]:

- была разработана методика интерпретации КВД скважин, вскрывших трещиновато-пористые коллекторы нефти и газа, позволяющая впервые определять все фильтрационные параметры - как системы трещин, так и пористых блоков в отдельности, а также оценивать параметр, характеризующий интенсивность перетока нефти и газа между ними. Была исследована теоретическая форма КВД скважин, вскрывших трещиновато-пористые коллекторы, и показано, что они должны иметь три четко выраженных участка: начальный прямолинейный, переходный и конечный прямолинейный, что подтверждается фактическими данными промысловых иссле-

дований. Установлено, что по начальному и конечному прямолинейным участкам фактических КВД скважин легко можно определять гидропроводность и параметр $æ/r_c^2$ соответственно системы трещин и пористых блоков. По переходному участку можно оценивать параметр, характеризующий интенсивность перетока нефти между системой трещин и пористыми блоками.

Как известно, в случае многопластовых месторождений возможность получения надежной и достоверной информации о фильтрационно-емкостных свойствах продуктивных пластов по данным гидродинамических исследований скважин существенно ограничивается. Наряду с технологическими трудностями, вызвано это, в частности, и тем, что вследствие взаимодействия совместно разрабатываемых пластов (не только взаимосвязанных, но и изолированных тоже) сильно осложняется математическое описание процесса фильтрации в этих коллекторах. Происходит это из-за необходимости более полного, комплексного учета всей совокупности природных и технологических факторов (изменение физических свойств флюида и коллектора в зависимости от давления, двухфазность потока, различные виды неоднородности коллектора и др.), присущих указанным месторождениям. Как следствие, значительно затрудняется решение соответствующих обратных задач подземной гидродинамики. Использование при их решении системы нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных наталкивается на такие труднопреодолимые препятствия как некорректность постановки задач в классическом смысле, неустойчивость получаемых решений, нелинейность-отсутствие принципа суперпозиции и др.

В связи с изложенным, постановка проблемы совершенствования теоретических основ нестационарной фильтрации флюида в многослойных пластах с целью создания новых математических моделей, более адекватно описывающих реальные процессы притока пластовых флюидов к скважинам, и разработка единой методологической основы были весьма актуальны.

В рамках решения этой проблемы:

- был выполнен комплекс исследований процесса фильтрации в многопластовых залежах, включающий получение класса точных аналитических и эффективных полуаналитических решений соответствующих гидродинамических задач, позволяющих моделировать указанный процесс, определять средние параметры системы в целом и находить индивидуальные параметры пластов [36];

- на основе вариационного подхода к решению соответствующей обратной задачи была разработана методика дифференцированного и достаточно точного определения фильтрационно-емкостных параметров изолированных пластов N-пластовой системы. При этом дифференцированную идентификацию параметров удалось произвести без использования данных о локальных дебитах, как это делается во многих случаях, а лишь на основе данных о суммарном дебите.

На основе вышеизложенного был создан программный пакет **MEGAPLAST** (совместно с компанией ЮНОКАЛ). Пакет программ **MEGAPLAST** позволяет:

- моделировать фильтрационные процессы в многопластовых системах, состоящих из N изолированных пластов с получением динамики забойного давления, изменения дебитов из каждого пласта во времени, распределения давления в каждом пласте;
- определять средние параметры системы (гидропроводность, скин-фактор) с использованием известных для однопластовых систем методик;
- определять индивидуальные параметры для каждого пласта системы на основе разработанной вариационной методики.

Необходимость повышения качества и достоверности гидродинамических расчетов по проектированию, анализу и регулированию разработки месторождений нефти и газа требует использования гидродинамической информации, накопленной в ходе нормальной эксплуатации месторождений нефти и газа.

Это стимулирует поиск нетрадиционных подходов к рассматриваемому вопросу, одним из которых является использование вариационного метода решения обратных задач. Суть его заключается в сведении задачи идентификации к минимизации некоторого функционала, являющегося критерием качества и выражающего квадратичное отклонение фактических данных от расчетных.

На основе полного учета изменения всего комплекса физических свойств флюидов и коллектора в зависимости от снижения давления и сопутствующих ему процессов, а также учета неоднородности по проницаемости пластов была разработана общая методика идентификации математических моделей гранулярных, трещиноватых и трещиновато-пористых пластов при двумерной фильтрации однофазных и многофазных флюидов путем сведения их к одной из трех предложенных в работе вариационных постановок. Исследованы вопросы наилучшего выбора вида вариационной постановки в зависимости от исходных данных и конкретных условий задач. Используя для решения краевых задач в отдельных постановках аналитические, приближенно-аналитические методы и в общем случае метод конечных разностей, разработаны расчетные схемы и комплекс программ, позволяющие автоматизировать процесс идентификации параметров математических моделей и решать широкий класс прямых и обратных задач для системы нелинейных дифференциальных уравнений параболического типа, описывающих фильтрационные процессы в гранулярных, трещиноватых и трещиновато-пористых пластах, выполнять исследования по адаптации гидродинамических моделей залежей по информации об их истории.

Разработанный подход позволяет также автоматизировать процесс адаптации либо выполнять его интерактивно. Следует отметить, что этот метод может быть реализован при использовании любого из имеющихся пакетов программ определения технологических показателей разработки месторождений нефти и газа.

Сформулирована и решена обратная задача неустановившейся фильтрации реальных нефтей и газов в деформируемых трещиновато-пористых коллекторах, позволяющая впервые определять все фильтрационные параметры как системы трещин, так и пористых блоков в отдельности, а также оценивать параметр, характеризующий интенсивность перетока нефти и газа между системой трещин и пористыми блоками [38].

Были предложены новые методы определения фильтрационных параметров трещиноватых пластов по данным газодинамического исследования газовых скважин на установившихся режимах в условиях высоких давлений. Обработка результатов исследований газовых скважин различных месторождений позволила установить влияние изменения реальных свойств газа и коллектора, а также инерционных сил на характер изменения коэффициента продуктивности и на определяемые значения фильтрационных параметров трещиноватых пластов [8].

Был выполнен широкий круг математических экспериментов на электроинтеграторе, связанных с моделированием фильтрационных течений в среде со случайным распределением проницаемости [38].

V. Было проведено большое число исследований и получен ряд точных решений по вопросам взаимодействия и обводнения скважин, перемещения контура нефтеносности с учетом разнодебитности скважин, неоднородности по проницаемости и наклона пласта, формы начального контура нефтеносности, расположения эксплуатационных и нагнетательных скважин и т.д. [39].

Путем упрощения полученных решений были предложены достаточно простые расчетные формулы по определению процента воды в дебитах различным образом расположенных скважин при жестком и упруго-водонапорном режимах пласта, а также законтурной, внутриконтурной и площадной систем заводнения нефтяных месторождений.

Была предложена расчетная схема для определения положения контура нефтеносности и процента обводнения скважин в условиях течения газированной жидкости в пласте при наличии законтурной водяной области.

Определено поле давлений, изучены движение водонефтяного контакта и процесс обводнения скважин в условиях искривленных пластов различных форм.

Было проведено гидродинамическое исследование процессов форсированного отбора жидкости из залежи, находящейся на поздней стадии разработки, в условиях жесткого и упруго-водонапорного режимов с учетом многочисленных физико-геологических факторов.

Были решены задачи по оптимальному размещению скважин прямолинейных и круговых батарей для обеспечения минимального срока разработки с учетом водного периода их работы.

Были исследованы вопросы перемещения контура нефтеносности и обводнения скважин в условиях многорядных систем. При этом были учтены двухфазность потока и неоднородность по проницаемости вдоль площади и мощности залежей при различных системах размещения скважин.

Предложенные расчетные схемы были использованы при проектировании и анализе разработки конкретных месторождений Азербайджана.

VI. Были предложены газогидродинамические методы расчета **разработки** многопластовых газовых месторождений с учетом взаимодействия скважин, различного вида связи между пластами, изменения реальных свойств коллекторов и насыщающих их газов при газовом и водонапорном режимах [30].

Используя линеаризованное уравнение фильтрации газа с учетом реальных свойств, получено решение задач о нестационарном движении газа к системе скважин в неоднородных по проницаемости пластах при газовом режиме. Исследована фильтрация газа к системе скважин в многопластовых месторождениях, пласты которых изолированы друг от друга или связаны через литологические окна и неоднородны по площади.

Получены формулы для распределения забойных и контурных давлений, доли дебита скважин из каждого пласта.

Была предложена расчетная схема для случая вытеснения реального и идеального газа водой к системе скважин в зонально-неоднородном по проницаемости пласте. Получены формулы для определения перемещения контура газоносности во времени, переменного давления на этом контуре, а также забойных давлений скважин [30].

Было рассмотрено вытеснение жирного газа «сухим» с учетом его реальных свойств к системе скважин в неоднородном пласте при различных вязкостях газов.

Предложено эффективное уравнение неустановившейся фильтрации реального газа в условиях высоких пластовых давлений и больших рабочих депрессий. При этом была изучена связь между функцией Лейбензона и давлением в широком диапазоне изменения давлений.

Был исследован процесс вытеснения летучей нефти водой при жестко- и упруговодонапорном режимах и установлено влияние различных природных и технологических факторов на его основные показатели.

Были разработаны и рекомендованы для практического использования новые уравнения притока реального газа к скважине и методы интерпретации результатов газодинамических исследований газовых скважин при различных законах и режимах фильтрации.

Было установлено, что пренебрежение изменениями параметров реального газа от давления по сравнению с их учетом при интерпретации результатов данных исследования скважин приводит к существенному занижению искомой величины коэффициента проницаемости пористого пласта и дебита скважин.

VII. Были исследованы особенности фильтрации жидкости к системе совершенных и несовершенных скважин в кусочно-однородных пластах, состоящих из участков (фрагментов) с разными проницаемостями. Неоднородный пласт определенной геометрической формы разбивался ортогональной сеткой прямых на разные участки с разными проницаемостями [38]. Для таковых условий модели были сформулированы краевые задачи о нахождении поля давлений. Эти модели неоднородных пластов отличаются своей простотой и общностью. На основе полученных приближенных зависимостей между дебитами и давлениями на скважинах была предложена методика определения пластовых давлений и гидропроводностей неоднородных пластов с учетом интерференции скважин, которая использовалась при обработке данных гидродинамических исследований скважин для определения пластовых давлений и гидропроводности на месторождении Грязевая Сопка.

VIII. Был разработан эффективный метод, позволяющий решать большой класс пространственных задач фильтрации в неоднородной среде с достаточно высокой степенью точности. Были предложены расчетные приемы и выведены формулы притока к несовершенной скважине и к скважине с заиленным фильтром в однородном и слоистонеоднородном пластах; установлено влияние непроницаемой перегородки и гидравлического разрыва на производительность скважин в однородном и неоднородном по проницаемости пластах, интерференции скважин при этих условиях и др. [21,38].

Были разработаны методы решения задач пространственной фильтрации однородной жидкости к системе несовершенных вертикальных, наклонных и горизонтальных скважин в кусочно-однородных средах, состоящих из любого числа зон и слоев с разными проницаемостями. Предполагая наличие различного вида связи (пласты изолированы, имеют сплошные связи или связаны через гидравлические окна и слабо проницаемые перемычки) между пластами (пропластками) многопластового месторождения, было получено замкнутое аналитическое решение задач о распределении поля давления.

Были предложены расчетные формулы для определения процесса обводнения скважин в многопластовых месторождениях, состоящих из изолированных пластов, а также для случая, когда между пластами имеются гидравлические окна [12].

IX. Были исследованы вопросы фильтрации жидкости в глубокозалегающих трещиноватых коллекторах с учетом изменения физических параметров флюида и коллектора от давления. С этой целью использовались линеаризованные дифференциальные уравнения и были получены аналитические решения многих задач с учетом влияния несовершенства и взаимодействия скважин, неоднородности и геометрии пласта, нестационарности процесса. Был изучен также процесс перемещения водонефтяного контакта и обводнения скважин с учетом различия вязкости нефти и воды в условиях водонапорного режима.

Эти же исследования легко обобщаются для случаев, когда залежи вдоль площади и мощности состоят из зон с разными проницаемостями.

Впервые аналитическими методами исследовалось нестационарное движение газов с учетом их реальных свойств в неоднородных трещиноватых породах при произвольном расположении скважин.

Принимая, что проницаемость блоков во много раз меньше проницаемости трещин, а пористость трещин во много раз меньше, чем у блоков, рассмотрено движение газа к системе скважин в трещиновато-пористом пласте. Получены формулы для распределения давления и забойных давлений.

Был выполнен комплекс исследований по изучению особенностей движения границы нефть-вода и обводнения скважин в пластах с трещиноватыми коллекторами и установлено влияние на них изменения физических параметров флюидов и среды с изменением давления [38,17].

X. Был проведен комплекс теоретических исследований по прямым и обратным задачам неравновесной фильтрации однородных флюидов с целью изучения влияния релаксационных эффектов на динамику разработки пласта [22,23,42]. При этом:

- была установлена неадекватность используемых в литературе математических постановок ряда задач линейной релаксационной фильтрации, имеющих важное значение как для экспресс-оценки влияния релаксационных эффектов на показатели разработки, так и для определения параметров пласта;

- даны адекватные постановки этих задач. При этом задачи релаксационной фильтрации были сформулированы не для одного дифференциального уравнения высокого порядка по времени, а для исходной замкнутой системы уравнений относительно нескольких неизвестных величин либо для интегро-дифференциального уравнения первого порядка по времени.

Таким образом, были решены конкретные задачи для следующих моделей релаксационной фильтрации:

- модели фильтрации вязко-упругой жидкости в упругой пористой среде при релаксации давления и скорости фильтрации;

- модели фильтрации упругой жидкости по закону Дарси в релаксационно-сжимаемых и ползучих пористых средах;

- модели фильтрации идеального газа в ползучих пористых средах.

Были получены также точные решения задачи о пуске скважины с заданным дебитом в первоначально невозмущенном бесконечном пласте для моделей фильтрации вязкоупругой жидкости в упругом пласте и фильтрации упругой жидкости по закону Дарси в релаксационно-сжимаемом пласте.

С помощью этих решений расчетным путем были даны оценки точности одного известного в литературе графоаналитического метода определения параметров пласта, основанного на асимптотических представлениях

точных решений при малых и больших значениях времени.

Были получены формулы, позволяющие определять фильтрационные и релаксационные параметры пласта для моделей фильтрации вязко-упругой жидкости в упругом пласте и фильтрации упругой жидкости по закону Дарси в релаксационном-сжимаемом пласте по данным восстановления забойных давлений. С этой целью для указанных моделей релаксационной фильтрации была решена задача об остановке скважины, работающей до остановки с постоянным дебитом в открытом круговом пласте, и получены соотношения между детерминированными моментами давления любого порядка в любой точке пласта и неизвестными параметрами пласта.

Для рассмотренных моделей релаксационной фильтрации было изучено также влияние релаксационных эффектов на динамику пластового и забойного давлений, на изменение пористости в релаксационно-сжимаемом и ползучем пластах. Показано, что при моделировании, проектировании и анализе разработки ползучих пластов необходимо учитывать также влияние деформации пласта на его проницаемость. Показано также, что пренебрежение релаксационными эффектами может привести к существенным погрешностям при определении фильтрационных параметров пласта.

Был разработан пакет программ для автоматизированного расчетного определения фильтрационных и релаксационных параметров пласта по данным нестационарных исследований скважин. Пакет программ апробирован также по конкретным данным исследования скважин месторождений Нефт Дашлары, Сангачалы-дениз – Дуванный-дениз – Хара-Зира адасы, Гум-дениз, и исследован вопрос о требованиях к конкретным данным нестационарных исследований скважин, повышающих надежность определения параметров пласта по рассмотренным расчетным формулам.

XI. При составлении технологических схем и проектов, а также анализе разработки нефтяных залежей с применением тепловых методов воздействия на пласты обычно наряду с другими расчетами проводятся и различные расчеты для изучения особенностей аккумулирования тепла в различных продуктивных пластах, количественной оценки ее ухода из этих пластов во внутренние и внешние непродуктивные горизонты и эффективности термозаводнения в сложных гидродинамических условиях. Очевидно, что установление этих важных характеристик возможно на основе надежных расчетных схем определения температурных полей в нефтяных залежах, учитывающих реальные пластовые условия. В связи с этим был проведен комплекс исследований с целью математического моделирования тепловых процессов в одно- и многопластовых, многослойных нефтяных залежах различных форм в условиях термического воздействия на пласт [11,37]. При этом:

- была сформулирована математическая модель и разработана методика расчета температурных полей, позволяющие в последующем решать задачи двухфазной неизотермической фильтрации жидкости к системе скважин в условиях однопластовой и многопластовой систем;

- на базе проведенных исследований была предложена обобщенная упрощенная аналитическая схема расчета для прогнозирования температурной обстановки в многослойных и многопластовых месторождениях при термозаводнении;

- на основе предложенной расчетной схемы распределения температур в залежи было дано приближенное аналитическое решение задачи вытеснения нефти к системе скважин горячей водой в многопластовых залежах при совместной эксплуатации пластов;

- был проведен сопоставительный анализ при широком диапазоне изменения исходных физических и геологических данных результатов расчетов, выполненных аналитическим и существующим численным методами и установлена граница применимости предложенных упрощенных решений.

Указанные выше результаты нашли отражение в комплексных работах, награжденных Государственной премией Азербайджана, премией им.академика И.М.Губкина, неоднократно наградами ВДНХ СССР, а также были приняты как важнейшие научные результаты АН СССР и НАН Азербайджана.

Естественно, что будущие исследования в области подземной нефтяной гидрогазодинамики во многом будут связаны и с более глубокими комплексными и системными ис-

следованиями физико-химических явлений, происходящих именно в процессе разработки месторождений нефти и газа; умением более объективно строить гидродинамические модели залежей, способствующие совершенствованию новых методов и технологий их разработки. Большое значение будет иметь развитие численных методов решения задач подземной гидрогазодинамики.

Большой вклад в науку в области подземной гидрогазодинамики в Азербайджане помимо указанных выше представителей нашей научной школы внесли: Аббасов А.А., Азимов Б.А., Аметов И.М., Гусейнов Г.П., Мирзаджанзаде А.Х., Насруллаев И.А., Пирвердян А.М., Салаватов Т.Ш. и др.

В бывшем СССР, а в последующем в странах СНГ исследования в области подземной гидрогазодинамики развивались усиленными темпами. На наш взгляд, следовало бы отметить следующих ученых, внесших большой вклад в эту науку: Абуталиев Ф.Б., Абуталиев Э.Б., Алиев З.С., Алишаев М.Г., Баренблатт Г.И., Борисов Ю.П., Бузинов С.Н., Вахитов Г.Г., Веригин Н.Н., Горбунов А.Т., Гусейзаде М.А., Данилов В.Л., Ентов В.М., Желтов Ю.П., Закиров С.Н., Коротаев Ю.П., Курбанов А.К., Молокович Ю.М., Николаевский В.Н., Полубаринова-Кочина П.Я., Пудовкин М.А., Салехов Г.С., Соколовский Э.В., Тумашев Г.Г., Хасанов М.М., Хейн А.Д., Чекалюк Э.Б., Швидлер М.И. и др.

ЛИТЕРАТУРА

1. АБАСОВ, М.Т. 1966. Вопросы гидродинамических исследований разработки газонефтяных и газоконденсатных месторождений. В: Материалы годичного общего собрания АН Азербайджана,108-132.
2. АБАСОВ, М.Т. 1968. Гидродинамические исследования разработки газонефтяных и газоконденсатных месторождений. Теория и практика добычи нефти (ежегодник). Недра. Москва. 68-82.
3. АБАСОВ, М.Т., АББАСОВ, З.Я., ДЖАЛАЛОВ, Г.И., ФЕЙЗУЛЛАЕВ, Х.А., РЗАЕВА, В.Г. 1999. Моделирование процесса извлечения конденсата из призабойной зоны скважины «сухим» углеводородным газом. Известия НАНА. Науки о земле, 2, 3-10.
4. АБАСОВ, М.Т., АББАСОВ, З.Я., ДЖАЛАЛОВ, Г.И., ФЕЙЗУЛЛАЕВ, Х.А., РЗАЕВА, В.Г., ГАМИДОВ, Н.Н. 2003. Проблемы повышения производительности газоконденсатных скважин в поздней стадии разработки месторождений. Геология нефти и газа, 3, 48-52.
5. АБАСОВ, М.Т., АЗИМОВ, Э.Х., БУРЯКОВСКИЙ, Л.А. и др. 1986. Геолого-геофизические и гидродинамические методы изучения многопластовых месторождений нефти и газа в сложных горно-геологических условиях. *Изв.АН Аз.ССР, серия наук о Земле*, 5, 3-13.
6. АБАСОВ, М.Т., АЗИМОВ, Э.Х., ИБРАГИМОВ, Т.М. 1991. Об одном решении коэффициентной обратной задачи при нестационарной фильтрации нефти и газа в пласте. *Докл. АН СССР,* 318, 3, 566-569.
7. АБАСОВ, М.Т., АЗИМОВ, Э.Х., ИБРАГИМОВ, Т.М., САЛМАНОВА, С.С. 1991. Аналитическое исследование взаимодействия изолированных пластов в условиях их совместной разработки. *Докл. АН СССР*, 321, 5, 925-928.
8. АБАСОВ, М.Т., АЗИМОВ, Э.Х., КУЛИЕВ, А.М. 1993. Гидродинамические исследования скважин глубокозалегающих месторождений. Азербайджанское государственное издательство. Баку.176.
9. АБАСОВ, М.Т., АЗИМОВ, Э.Х., САЛМАНОВА, С.С. 1982. О решении задач фильтрации нефти в трещиновато-пористых коллекторах. *Изв. АН Аз. ССР, сер. наук о Земле,* 3, 43-49.
10. АБАСОВ, М.Т., АЗИМОВ, Э.Х., САЛМАНОВА, С.С. 1985. О нестационарной фильтрации нефти к скважине в бесконечных изолированных пластах. *Докл. АН Азерб. ССР*, 41, 7, 48-51.
11. АБАСОВ, М.Т., АСЛАНОВ, М.С., ДЖАЛИЛОВ, К.Н., ДЖАФАРОВ, Н.Д. 1995. Температурное поле в многопластовых месторождениях при термозаводнении. *Изв. АН Азербайджана. Науки о Земле*, 1-3, 16-22.
12. АБАСОВ, М.Т., ГАДЖИЕВ, М.А., ДЖАЛИЛОВ, К.Н. и др. 1980. Вопросы обводнения скважин в многопластовых месторождениях. Элм. Баку.160 с.
13. АБАСОВ, М.Т., ГАДЖИЕВ, М.А., ДЖАЛАЛОВ, Г.И. и др. 1982. Вопросы подземной гидродинамики. *Изв.АН Аз.ССР, сер.наук о Земле,* 6, 56-62.
14. АБАСОВ, М.Т., ГАСАНОВ, Ф.Г. 1963. К расчетам разработки газоконденсатно-нефтяных месторождений. *АНХ*, 10, 21-23.
15. АБАСОВ, М.Т., ДЖАВАНШИР, Р.Д., ИМАНОВ, А.А., ДЖАЛАЛОВ, Г.И. 1997. О влиянии пластового давления на изменение фильтрационно емкостных свойств пород-коллекторов в процессе разработки месторождений нефти и газа. *Геология нефти и газа,* 5, 34-39.
16. АБАСОВ, М.Т., ДЖАЛАЛОВ, Г.И., ДЖАЛИЛОВ, К.Н. 1989. Моделирование и исследование фильтрационных процессов в деформируемых средах В: *Нефтегазоносность больших глубин и грязевой вулканизм* (Тезисы I Всесоюзного совещания-семинара, октябрь 1989 г.), Баку, 126-129.
17. АБАСОВ, М.Т., ДЖАЛАЛОВ, Г.И., ДЖАЛИЛОВ, К.Н. и др. 1988. Гидрогазодинамика трещиноватых коллекторов. Элм. Баку. 291.
18. АБАСОВ, М.Т., ДЖАЛАЛОВ, Г.И., ИБРАГИМОВ, Т.М., МАМЕДОВ, А.М., ФЕЙЗУЛЛАЕВ, Х.А. 2002. Численное исследование задачи о притоке газокон-

денсатной смеси к несовершенной по степени вскрытия скважине в однородно-анизотропном по проницаемости пласте. *Изв. НАНА. Науки о Земле*, 3, 7-9.

19. АБАСОВ, М.Т., ДЖАЛАЛОВ, Г.И., КУЛИЕВ, Г.Ф., ФЕЙЗУЛЛАЕВ, Х.А. 2004. Идентификация функций относительных фазовых проницаемостей при фильтрации газоконденсатнои смеси. *Изв. НАНА. Науки о Земле*, 2, 78-81.
20. АБАСОВ, М.Т., ДЖАЛАЛОВ, Г.И., МАМЕДОВ, А.М. 1988. О методах нестационарных задач фильтрации жидкости в трещиновато - пористых коллекторах. *Изв.АН Аз.ССР. Науки о Земле*, 2, 22-34.
21. АБАСОВ, М.Т., ДЖАЛИЛОВ, К.Н. 1960. Вопросы подземной гидродинамики и разработки нефтяных и газовых месторождений. Азернефтнешр. Баку. 255.
22. АБАСОВ, М.Т., ДЖАЛИЛОВ, К.Н., КЕРИМОВ, З.А., МИРЗОЕВА, Д.Р. 2000 а. Об определении параметров релаксационно-сжимаемого пласта. *Изв. АНА. Науки о Земле,* 2, 39-45.
23. АБАСОВ, М.Т., ДЖАЛИЛОВ, К.Н., КЕРИМОВ, З.А., МИРЗОЕВА, Д.Р. 2000 б. О фильтрации жидкости в релаксационно-сжимаемом и ползучем пластах при релаксации скорости и давления. *Известия АНА. Науки о Земле*, 2, 25-38.
24. АБАСОВ, М.Т., ДЖАМАЛБЕКОВ, М.А., ОРУДЖАЛИЕВ, Ф.Г. 1984.Особенности истощения газоконденсатных залежей в трещиноватых коллекторах. *Изв. АН Аз. ССР, сер.наук о Земле,* I, 3-8.
25. АБАСОВ, М.Т., ДЖАМАЛБЕКОВ, М.А., ОРУДЖАЛИЕВ, Ф.Г. 1983. Фильтрация газоконденсатнои смеси в трещиноватых коллекторах. *Изв. АН Аз.ССР, сер.наук о Земле,* 5, 3-8.
26. АБАСОВ, М.Т., ИБРАГИМОВ, Т.М., МАМИЕВ, В.С., ДЖАЛАЛОВ, Г.И. 2000. Об адаптации гидродинамических моделей углеводородных залежей по данным истории их разработки. В Трудах математического центра имени Н.И.Лобачевского, том 7: *Краевые задачи аэрогидромеханики и их приложения*. (Материалы международной конференции, посвященной 90-летию со дня рождения Г.Г.Тумашева, Казань, 21-24 ноября 2000г.) ДАС. Казань. 22-27.
27. АБАСОВ, М.Т., ИМАНОВ, А.А., ДЖАЛАЛОВ, Г.И. 2006. Деформация глубокозалегающих природных резервуаров залежей нефти и газа при разработке. *Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений,* 3-4, ВНИИОЭНГ, Москва, 62-66.
28. АБАСОВ, М.Т., ИМАНОВ, А.А., ДЖАЛАЛОВ, Г.И. 2004. Многофакторная оценка деформационных процессов в коллекторах по результатам экспериментальных исследований керна. В материалах международной конференции 24-26 ноября 2004г.: *Фундаментальные проблемы разработки нефтегазовых месторождений, добычи и транспортировки углеводородного сырья*. Москва. 156-157.
29. АБАСОВ, М.Т., КЕРИМОВ, З.А., МИРЗОЕВА, Д.Р., КАЗЫМОВА, Т.Ш. 2006. Об определении параметров ползучего и релаксационно-сжимаемого пластов по данным гидродинамических исследований скважин. *Изв. НАНА. Науки о Земле,* 1, 59-64.
30. АБАСОВ, М.Т., КУЛИЕВ, А.М. 1976. Методы гидрогазодинамических расчетов разработки многопластовых месторождений нефти и газа. Элм. Баку. 204.
31. АБАСОВ, М.Т., КУЛИЕВ, А.М., АЗИМОВ, Э.Х. 1976. Определение параметров трещиноватого газового пласта по данным наблюдения нестационарной фильтрации в нем реального газа. *Изв. АН Аз. ССР, сер.наук о Земле*, 2, 52-59.
32. АБАСОВ, М.Т., МАМЕДОВ, О.А. 1963. О расчетах фильтрации газированной нефти. *Докл.АН Азерб.ССР*, 19, 3, 19-22.
33. АБАСОВ, М.Т., МАМЕДОВ, О.А. 1963. Начальная фаза прямолинейного движения нефти в пласте при режиме растворенного газа. *Докл.АН Аерб.ССР*, 19, 8, 15-19.
34. АБАСОВ М.Т., ОРУДЖАЛИЕВ Ф.Г. 1989. Газогидродинамика и разработка газоконденсатных месторождений. Недра. Москва. 262.
35. АБАСОВ, М.Т., ПАЛАТНИК, Г.Г., ЗАКИРОВ, И.С. 1990. Идентификация функций относительных фазовых проницаемостей при двухфазной фильтрации. *Докл. АН СССР. Геология*, 4, 312.
36. АНАЛИЗ ДАННЫХ исследования скважин многопластовых залежей с совместно разрабатываемыми изолированными пластами. 1996. Отчет по проекту ИПГНГМ НАН Азербайджана. ЮНОКАЛ, США.
37. АСЛАНОВ, М.С. 1998. Разработка методов расчета температурных полей и вытеснения нефти горячей водой в многопластовых залежах: Дисс. канд.физ.-мат.наук. Баку. 124.
38. ДЖАЛАЛОВ, Г.И. 1990. Гидрогазодинамика разработки нефтяных и газовых залежей в деформируемых коллекторах. Дисс.док.тех.наук. Баку. 502.
39. ДЖАЛИЛОВ, К.Н. 1974. Вопросы перемещения контура нефтеносности и обводнения скважин. Элм. Баку. 286.
40. ДЖАЛИЛОВ, К.Н., ДЖАФАРОВ, Н.Д., АСЛАНОВ, М.С. 1995. Эффективный способ определения температурного поля при термозаводнении. *Изв. АН Азербайджана, сер.наук о Земле,*1-3,10-15.
41. ДЖАФАРОВ, Н.Д. 1992. Математическое моделирование фильтрационных процессов в неоднородных коллекторах месторождений нефти и газа. Дисс. док. тех.наук. Баку, 52.
42. МИРЗОЕВА, Д.Р. 2002. Гидродинамические методы исследования процессов релаксационной фильтрации. Дисс.канд.тех.наук. Баку. 157.
43. ABASOV, M.T., ABBASOV, Z.YA., JALALOV, G.I., FEYZULLAYEV, KH.A., HAMIDOV, N.N. 2003. Problems of gas condensate wells productivity increase at the late stage of fields development. World Gas Congress, Tokyo, Japan.

© Т.Ш.Казымова, 2008

ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПАРАМЕТРОВ ПОЛЗУЧЕГО ГАЗОВОГО ПЛАСТА ПО ДАННЫМ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СКВАЖИН

Т.Ш.Казымова

Институт геологии НАН Азербайджана
AZ1143, Баку, просп. Г.Джавида, 29А

Приведены формулы расчета фильтрационных и релаксационных параметров пласта для модели фильтрации идеального газа в ползучей пористой среде по данным нестационарных исследований скважин с учетом притока газа к скважине после ее остановки.

Введение

Как было отмечено в работе (Абасов и др., 2006), большинство существующих расчетных формул определения параметров пласта по данным гидродинамических исследований скважин в условиях релаксационной фильтрации предложены в предположении о мгновенном пуске, либо мгновенной остановки скважины, работающей с постоянным дебитом. Представляет важный практический интерес учет продолжающегося притока жидкости к скважине после ее остановки для моделей релаксационной фильтрации (см., например, Дунямалыев, Кулиев, 1990; Абасов и др., 2006). Ранее (Абасов и др., 2006) были получены формулы расчета параметров пласта по данным нестационарных исследований скважин с учетом притока жидкости к скважине после ее остановки для моделей фильтрации упругой жидкости в ползучем и релаксационно-сжимаемом пластах.

В данной статье приведены формулы расчета параметров пласта по данным нестационарных исследований скважин с учетом притока газа к скважине после ее остановки для модели фильтрации идеального газа в ползучем пласте.

Постановка прямой задачи

Представим, что после остановки в момент $t=0$ центральной газовой скважины радиусом R_c, дренирующей однородный и изотропный круговой пласт радиусом R_k и постоянной толщиной h, работающей до остановки с постоянным объемным дебитом Q_0 ($sign(Q_0)=-1$), ее дебит уменьшается по некоторому известному закону $Q(t)$. На внешней границе пласта удерживается начальное пластовое давление p_0. Требуется определить распределение давления по пласту при $t>0$.

Математически задача сводится к определению в области ($R_c \le r \le R_k$; $t \ge 0$) функции $P(r,t)$, удовлетворяющей уравнению (Аметов, Басниев, 1981):

$$\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left[r\frac{\partial P(r,t)}{\partial r}\right]=\mathrm{a}\frac{\partial P(r,t)}{\partial t}+$$

$$+b\frac{\partial}{\partial t}\int_0^t e^{-\frac{t-\tau}{\theta_m}}\left[P(r,\tau)-P(r,0)\right]d\tau \qquad (1)$$

$$(\mathrm{R_c} < \mathrm{r} < \mathrm{R_k}\ ,\ 0 < \mathrm{t})$$

и условиям

$$P(r,0)=\frac{Q_0}{\pi\varepsilon}\ln\frac{r}{R_k} \qquad (2)$$

$$(R_c \le r \le R_k)$$

$$\frac{\partial P(R_c,t)}{\partial r}=\frac{\mathrm{Q(t)}}{\pi \mathrm{R_c}\varepsilon} \qquad (3)$$

$$(t>0), \quad Q(0+0)=Q_0$$

$$P(R_k,t)=0\ \left(\ t\ge 0\ \right). \qquad (4)$$

Здесь

$$P(r,t)=\frac{p_0^2-p^2(r,t)}{p_{атм}};\quad a=\frac{1}{\chi_2};$$

$$b=\frac{2p_0m_1}{\chi_2};\quad \chi_2=\frac{kp_0}{m_0\mu};$$

$\varepsilon=\frac{kh}{\mu}$ – коэффициент гидропроводности пласта; p, $p_{атм}$ – соответственно пластовое и атмосферное давление; θ_m - время релаксации пористости, r – радиальная координата рассматриваемой точки пласта. При этом значения Q_0 и $Q(t)$ приведены к атмосферному давлению.

Непосредственной проверкой можно убедиться в том, что решение задачи (1)-(4) представляется в виде:

$$P(r,t)=\frac{Q_0}{\pi\varepsilon}\ln\frac{r}{R_k}+ \\ +\frac{1}{\mathrm{Q}^*}\int_0^t\varphi(r,t-\xi)\frac{\mathrm{dQ}(\xi)}{d\xi}d\xi\ , \tag{5}$$

где функция $\varphi(r,t)$ является решением следующей вспомогательной задачи

$$\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left[r\frac{\partial\varphi(r,t)}{\partial r}\right]=\mathrm{a}\frac{\partial\varphi(r,t)}{\partial t}+ \\ +b\frac{\partial}{\partial t}\int_0^t e^{-\frac{t-\tau}{\theta_m}}\varphi(r,\tau)\,d\tau \tag{6}$$

$$(\mathrm{R_c}<\mathrm{r}<\mathrm{R_k}\ ,\ \mathrm{t}>0)$$

$$\varphi(r,0)=0\quad (R_c\le r\le R_k) \tag{7}$$

$$\frac{\partial\varphi(R_c,t)}{\partial r}=\frac{\mathrm{Q}^*}{\pi\mathrm{R_c}\varepsilon}\ (\ t>0\ ) \tag{8}$$

$$\varphi(R_k,t)=0\ (\ t\ge0\ )\ , \tag{9}$$

здесь Q^*=const – некоторое характерное значение дебита скважины($Q^*\neq0$).

При этом решение задачи (6)-(9) при $b>0$ представляется в виде :

$$\varphi(r,t)=\frac{Q^*}{\pi\varepsilon}\left\{\ln\frac{\mathrm{r}}{\mathrm{R_k}}-\frac{\pi}{R_c}\sum_{\nu=1}^{\infty}\varphi_\nu(t)\psi_\nu(r)\right\}, \tag{10}$$

здесь

$$\varphi_\nu(t)=\frac{b_\nu\left(1-\tau_pa_\nu\right)e^{-a_\nu t}-a_\nu\left(1-\tau_pb_\nu\right)e^{-b_\nu t}}{b_\nu-a_\nu};$$

$$\psi_\nu(r)=\frac{J_0(\lambda_\nu R_k)J_1(\lambda_\nu R_c)U_0(\lambda_\nu r)}{\lambda_\nu\left[J_1^2(\lambda_\nu R_c)-J_0^2(\lambda_\nu R_k)\right]};$$

$$a_\nu=\frac{1}{2}\left(\alpha_\nu-\sqrt{\alpha_\nu^2-4\beta_\nu}\right),\ b_\nu=\frac{1}{2}\left(\alpha_\nu+\sqrt{\alpha_\nu^2-4\beta_\nu}\right),$$

$$\alpha_\nu=\frac{1+\tau_p\chi\lambda_\nu^2}{\tau_{\mathrm{u}}};\quad \beta_\nu=\frac{\chi\lambda_\nu^2}{\tau_u};$$

$$U_0(\lambda_\nu r)\equiv Y_0(\lambda_\nu R_k)J_0(\lambda_\nu r)-J_0(\lambda_\nu R_k)Y_0(\lambda_\nu r);$$

J_0 и J_1 – функция Бесселя нулевого и первого порядка соответственно; Y_0 и Y_1 – функция Неймана нулевого и первого порядка соответственно; λ_ν – ν -й положительный корень уравнения

$$Y_0(\lambda_\nu R_k)J_1(\lambda_\nu R_c)-J_0(\lambda_\nu R_k)Y_1(\lambda_\nu R_c)=0\ ,$$

а через τ_p , τ_u и χ приняты следующие обозначения:

$$\tau_p=\theta_m;\ \tau_u=\frac{\theta_m}{1+2\theta_m p_0m_1};\ \chi=\frac{\tau_u\chi_2}{\tau_p}\ . \tag{11}$$

Так, например, при $Q(t)=Q_0e^{-ct}$, где $c>0$, имеем

$$P(r,t)=\frac{Q_0}{\pi\varepsilon}\left[\mathrm{e}^{-\mathrm{ct}}\ln\frac{\mathrm{r}}{\mathrm{R_k}}-\frac{\pi}{R_c}\sum_{\nu=1}^{\infty}p_\nu(t)\psi_\nu(r)\right] \tag{12}$$

$$p_\nu(t)=\begin{cases}p_\nu^{(1)}(t)\ , & (a_\nu\neq c;\ \ b_\nu\neq c)\\ p_\nu^{(2)}(t)\ , & (a_\nu=c)\\ p_\nu^{(3)}(t)\ , & (b_\nu=c)\end{cases}$$

$$p_\nu^{(1)}(t)=\frac{d_\nu\left(1-\tau_p a_\nu\right)\left(e^{-ct}-e^{-a_\nu t}\right)-e_\nu\left(1-\tau_p b_\nu\right)\left(e^{-ct}-e^{-b_\nu t}\right)}{\left(b_\nu-a_\nu\right)\left(a_\nu-c\right)\left(b_\nu-c\right)}$$

$$p_\nu^{(2)}(t)=\frac{d_\nu\left(1-\tau_p c\right)te^{-ct}-c^2\left(1-\tau_p b_\nu\right)\left(e^{-ct}-e^{-b_\nu t}\right)}{\left(b_\nu-c\right)^2}$$

$$p_\nu^{(3)}(t)=\frac{e_\nu\left(1-\tau_p c\right)te^{-ct}-c^2\left(1-\tau_p a_\nu\right)\left(e^{-ct}-e^{-a_\nu t}\right)}{\left(a_\nu-c\right)^2}$$

$$d_\nu=cb_\nu\left(b_\nu-c\right)\ ;\qquad e_\nu=ca_\nu\left(a_\nu-c\right).$$

Постановка обратной задачи

Пусть, кроме условий (2)-(4), задано еще одно условие, имеющее следующий вид:

$$p(R_c,t)=p_c(t)\quad(t\geq 0)\ , \tag{13}$$

где $p_c(t)$ – кривая восстановления давления (КВД) на забое скважины, и требуется определить значения параметров ε, $\frac{\chi}{R_k^2}$, τ_p, τ_u, $\frac{R_c}{R_k}$.

Вычислим детерминированные моменты $M_n^{(Q)}(r)$ функции $P(r,t)$, определяемые следующим образом (Химмельблау, 1973)

$$M_n^{(Q)}(r)=\int_0^\infty P(r,t)t^n dt \qquad (\mathrm{R_c}\leq \mathrm{r}\leq \mathrm{R_k}\ ;\mathrm{n}=\overline{0,\mathrm{N}})\ , \tag{14}$$

где N – некоторое неотрицательное целое число, а $P(r,t)$ – решение прямой задачи (1)-(4).

Из (5) и (14) имеем

$$M_n^{(Q)}(r)=\frac{\mathrm{q}_n}{\pi\varepsilon}\ln\left(\frac{r}{R_k}\right)+\frac{n}{Q_0}\sum_{i=0}^{n-1}\left[C_{n-1}^i\,q_{n-1-i}\,M_i^{(0)}(r)\right]+M_n^{(0)}(r) \tag{15}$$

здесь $q_n=\int_0^\infty Q(t)t^n dt$ ($n=\overline{0,N}$) - детерминированный момент n – го порядка функции $Q(t)$; $M_n^{(0)}(r)$ - детерминированные моменты функции $P(r,t)$, соответствующей случаю $Q(t)\equiv 0\,(t>0)$, т.е. мгновенной остановке скважины.

$$M_0^{(0)}(r)=-\frac{Q_0}{\pi\varepsilon}\frac{R_k^2}{\chi}A_1(r)$$

$$M_n^{(0)}(r)=-\frac{Q_0\cdot n!}{\pi\varepsilon}\cdot\left\{(\tau_p-\tau_u)\sum_{j=0}^{n-1}\left[\varphi_j^{(n-1)}(\tau_p,\tau_u)\left(\frac{R_k^2}{\chi}\right)^{j+1}A_{j+1}(r)\right]+\left(\frac{R_k^2}{\chi}\right)^{n+1}A_{n+1}(r)\right\}\ (n=\overline{1,N})\ ,$$

где

$$\varphi_j^{(n)}(\tau_p,\tau_u)=\sum_{l=0}^{L}(-1)^l C_{n+1-j}^l C_{n-j}^l\tau_p^{n-j-l}\tau_u^l\ ;$$
$$L=\min(j\,;n-j).$$

Функции $A_n(r)$ определены в (Jalilov et al., 2000).

Например, ниже приводятся выражения для детерминированных моментов $M_0^{(Q)}(r)$, $M_1^{(Q)}(r)$ и $M_2^{(Q)}(r)$:

$$M_0^{(Q)}(r)=\frac{1}{\pi\varepsilon}\left[q_0\ln\left(\frac{r}{R_k}\right)-Q_0\frac{R_k^2}{\chi}A_1(r)\right] \tag{16}$$

$$M_1^{(Q)}(r)=\frac{1}{\pi\varepsilon}\left\{q_1\ln\left(\frac{r}{R_k}\right)-Q_0\left[\left(\frac{q_0}{Q_0}+\tau_p-\tau_u\right)\frac{R_k^2}{\chi}A_1(r)+\left(\frac{R_k^2}{\chi}\right)^2A_2(r)\right]\right\} \tag{17}$$

$$M_2^{(Q)}(r)=\frac{q_2}{\pi\varepsilon}\ln\left(\frac{r}{R_k}\right)-\frac{2Q_0}{\pi\varepsilon}\left\{\frac{q_1}{Q_0}\frac{R_k^2}{\chi}A_1(r)+\right.$$

$$+\frac{q_0}{Q_0}\left[\left(\tau_p-\tau_u\right)\frac{R_k^2}{\chi}A_1(r)+\left(\frac{R_k^2}{\chi}\right)^2A_2(r)\right]+$$

$$+\left(\tau_p-\tau_u\right)\left[\tau_p\frac{R_k^2}{\chi}A_1(r)+2\left(\frac{R_k^2}{\chi}\right)^2A_2(r)\right]+ \qquad (18)$$

$$\left.+\left(\frac{R_k^2}{\chi}\right)^3A_3(r)\right\},$$

где функции $A_0(r)$, $A_1(r)$, $A_2(r)$ и $A_3(r)$ имеют вид:

$$A_0(r)=-ln\frac{r}{R_k}$$

$$A_1(r)=\frac{1}{4}\left[1+\left(\frac{R_c}{R_k}\right)^2\psi\ln\frac{r}{R_k}\right]-$$

$$-\frac{1}{4}\left(1-\ln\frac{r}{R_k}\right)\left(\frac{r}{R_k}\right)^2$$

$$A_2(r)=\frac{1}{128}\left[5-8\left(\frac{R_c}{R_k}\right)^2\psi\right]+$$

$$\frac{1}{64}\left[8\left(\frac{R_c}{R_k}\right)^2-\left(\frac{R_c}{R_k}\right)^4\left(3+2\psi+4\psi^2\right)\right]\ln\frac{r}{R_k}-$$

$$-\frac{1}{16}\left[1-\left(\frac{R_c}{R_k}\right)^2\psi+\left(\frac{R_c}{R_k}\right)^2\psi\ln\frac{r}{R_k}\right]\left(\frac{r}{R_k}\right)^2+$$

$$+\frac{1}{128}\left(3-2\ln\frac{r}{R_k}\right)\left(\frac{r}{R_k}\right)^4$$

$$A_3(r)=\frac{23}{3456}-\frac{1}{512}\left[\left(\frac{R_c}{R_k}\right)^2(16+5\psi)-\right.$$

$$\left.-2\left(\frac{R_c}{R_k}\right)^4\left(3+2\psi+4\psi^2\right)\right]+$$

$$+\frac{1}{2304}\left(\frac{R_c}{R_k}\right)^2\left[45-36\left(\frac{R_c}{R_k}\right)^2(1+4\psi)+\right.$$

$$\left.+\left(\frac{R_c}{R_k}\right)^4\left(7+57\psi+36\psi^2+36\psi^3\right)\right]ln\frac{r}{R_k}-$$

$$-\frac{1}{512}\left\{5-8\left(\frac{R_c}{R_k}\right)^2(2+\psi)+2\left(\frac{R_c}{R_k}\right)^4\left(3+2\psi+4\psi^2\right)+\right.$$

$$\left.+\left[16\left(\frac{R_c}{R_k}\right)^2-2\left(\frac{R_c}{R_k}\right)^4\left(3+2\psi+4\psi^2\right)\right]ln\frac{r}{R_k}\right\}\left(\frac{r}{R_k}\right)^2+$$

$$+\frac{1}{512}\left[2-3\left(\frac{R_c}{R_k}\right)^2\psi+2\left(\frac{R_c}{R_k}\right)^2\psi ln\frac{r}{R_k}\right]\left(\frac{r}{R_k}\right)^4-$$

$$-\frac{1}{13824}\left(11-6ln\frac{r}{R_k}\right)\left(\frac{r}{R_k}\right)^6,$$

здесь было принято обозначение $\psi=1-2\,ln\left(\frac{R_c}{R_k}\right)$.

Результаты тестовых расчетов

Показано, что полученные соотношения (15) позволяют при известном $p_c(t)$ и $Q(t)$ определять значения параметров ε, $\frac{\chi}{R_k^2}$, τ_u, τ_p и $\frac{R_c}{R_k}$ с учетом продолжающегося притока газа к скважине после ее остановки. При этом, очевидно, предполагается, что функция $Q(t)(t>0)$ такова, что ее детерминированные моменты q_n нужного порядка существуют.

Ниже, для простоты, приводятся результаты расчетов по определению значений параметров $\frac{R_k^2}{\chi}$, τ_p и τ_u при известных ε и $\frac{R_c}{R_k}$.

Из (16)-(18) с учетом (2) имеем:

$$\frac{R_k^2}{\chi} = -\frac{\pi\varepsilon}{Q_0} \cdot \frac{M_0^{(Q)}(R_c) - \frac{q_0}{Q_0} P_c(0)}{A_1(R_c)} \qquad (19)$$

$$\Delta\tau = \tau_p - \tau_u = -\frac{q_0}{Q_0} - \frac{\pi\varepsilon}{Q_0} \frac{M_1^{(Q)}(R_c) - \frac{q_1}{Q_0} P_c(0)}{\frac{R_k^2}{\chi} A_1(R_c)} - \frac{R_k^2}{\chi} \frac{A_2(R_c)}{A_1(R_c)} \qquad (20)$$

$$\tau_p = -\frac{q_0}{Q_0}\left[1 + \frac{R_k^2}{\chi}\frac{A_2(R_c)}{A_1(R_c)\Delta\tau}\right] - \frac{q_1}{Q_0\Delta\tau} - \frac{\frac{\pi\varepsilon}{2Q_0}\left[M_2^{(Q)}(R_c) - \frac{q_2}{Q_0}P_c(0)\right]}{\frac{R_k^2}{\chi}A_1(R_c)\Delta\tau} - 2\frac{R_k^2}{\chi}\frac{A_2(R_c)}{A_1(R_c)} - \left(\frac{R_k^2}{\chi}\right)^2 \frac{A_3(R_c)}{A_1(R_c)\Delta\tau}, \qquad (21)$$

где $P_c(0) = \frac{p_0^2 - p_c^2(0)}{p_{атм}}$.

Расчеты были проведены с использованием КВД, построенных по формуле точного решения (12) прямой задачи, соответствующей случаю $Q(t)=Q_0e^{-ct}$.

В таблице приведены рассчитанные по формулам (19) - (21) значения параметров $\frac{R_k^2}{\chi}$, τ_p и τ_u и их относительные по точным значениям отклонения для различных значений T.

Результаты расчетов, приведенных в таблице, соответствуют КВД, рассчитанной при следующих исходных данных:

$$c = 5.79\cdot10^{-3};\ p_0 = 3\cdot10^7\ Па;$$
$$R_c = 0.1\,м;\ R_k = 1000\,м;$$
$$\theta_m = 2{,}3\cdot10^5\ \ сек;$$
$$\mathrm{m}_1 = 3.4\cdot10^{-14}\ \frac{1}{Па\cdot сек};$$
$$\chi_2 = 0.3\frac{м^2}{сек};\quad \varepsilon = 2\cdot10^{-8}\frac{м^3}{Па\cdot сек}.$$

При этом начальное пластовое давление p_0 и детерминированные моменты $M_n^{(Q)}(R_c)$ и q_n $(n = 0{,}1{,}2)$ ввиду ограниченности продолжительности остановки скважины T вычислялись как

$$p_0 \cong p_c(T)\ ;\ M_n^{(Q)}(R_c) \cong \int_0^T P_c(t)\,t^n dt\ ;$$
$$q_n \cong \int_0^T Q(t)\,t^n dt\ \ (n = 0{,}1{,}2) \qquad (22)$$

Для вышеприведенных исходных данных интегралы (22) вычислялись квадратурной формулой Симпсона на равномерной сетке с шагом Δt=60 сек.

$\frac{T}{\theta_m}$	$\left(\frac{R_k^2}{\chi}\right)_{расч}$	Откл %	$(\tau_p)_{расч}$	Откл %	$(\tau_u)_{расч}$	Откл %
6	16283018.8	13.7	81190	64.7	8000.8	80.2
10	18267924.5	3.18	198260	13.8	30952.5	23.4
14	18462264.1	2.15	207460	9.8	37135	8.1
18	18632075.4	1.25	212750	7.5	38670.5	4.3

И в этом случае результаты расчетов показали, что при достаточной продолжительности остановки скважины (выход КВД на стационар) и высокой точности численного интегрирования (22) достигается высокая точность определения значений параметров $\frac{R_k^2}{\chi}$, τ_p и τ_u.

ЛИТЕРАТУРА

АБАСОВ, М.Т., КЕРИМОВ, З.А., МИРЗОЕВА, Д.Р., КАЗЫМОВА, Т.Ш. 2006. Об определении параметров ползучего и релаксационно-сжимаемого пластов по данным гидродинамических исследований скважин. *Известия АН Азербайджана, серия науки о Земле*, 1, 59-64.

АМЕТОВ, И.М., БАСНИЕВ, К.С. 1981. Фильтрация жидкости и газа в ползучих средах. *Изв. АН СССР, сер. Механика жидкости и газа*, 4, 150-153.

ДУНЯМАЛЫЕВ, М.А., КУЛИЕВ, А.М. 1990. Методическое руководство по определению фильтрационных и реологических свойств пласта по данным восстановления забойного давления скважин, Баку, 63 с.

ХИММЕЛЬБЛАУ, Д. 1973. Анализ процессов статистическими методами. Москва, Мир, 958.

JALILOV, G.N., KERIMOV, Z.A., MIRZOYEVA, D.R. 2000. Direct and inverse problems of relaxation filtration. *Transactions of Academy of Sciences of Azerbaijan, Mathematics and Mechanics*, XX, 1, 196-202.

© А.С.Стреков, К.В.Назиров, 2008

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ БУРОВЫХ РАСТВОРОВ НА ФИЛЬТРАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ГОРНЫХ ПОРОД

А.С.Стреков, К.В.Назиров

Институт геологии НАН Азербайджана
AZ1143, Баку, просп. Г.Джавида, 29А

В статье приводятся результаты экспериментальных исследований влияния буровых растворов на фильтрационные свойства горных пород. Установлено, что в случае взаимодействия водного бурового раствора с породой степень восстановления проницаемости возрастает с улучшением фильтрационно-ёмкостных свойств горных пород и ухудшается с увеличением плотности бурового раствора

Введение

Одной из важнейших задач при строительстве нефтяных скважин является качественное вскрытие продуктивных пластов. Использование традиционных технологий по вскрытию пластов ведет к значительному снижению фильтрационных характеристик продуктивных коллекторов нефти и, как следствие, потенциального дебита вводимых в эксплуатацию скважин. Основным фактором, значительно ухудшающим продуктивность скважин, является кольматация частицами бурового раствора или его фильтратом порового пространства призабойной зоны пласта (ПЗП).

Постановка задачи

Состояние ПЗП после вскрытия определяется фильтрационным движением бурового раствора, их фильтратов, твердых частиц в продуктивный пласт и физико-химическими процессами, протекающими там. Причем зона закупоривания околоскважинного пространства имеет незначительные размеры и представляет собой слои с различными физическими свойствами. По данным (Абдуллин и Рахматуллина, 2005), первый слой – это глинистая корка приблизительно 1-2 см толщиной, зона кольматации (более 5 см), промытая зона, зона проникновения фильтрата (до 1-2 м) и далее следует незагрязненная часть пласта. Однако, несмотря на свои небольшие размеры, именно она является причиной значительного снижения продуктивности добывающих скважин. Известно, что вскрытие пластов бурением с промывкой глинистым раствором снижает начальные дебиты скважин на 15-40%.

В настоящее время для совершенствования условий бурения и вскрытия пластов разработано большое количество рецептур глинистых буровых растворов. В то же время разнообразие условий бурения скважин не позволяет создать такой универсальный буровой раствор, который позволил бы во всех случаях сохранить первоначальную проницаемость ПЗП. Поэтому для совершенствования условий бурения скважин и вскрытия продуктивных пластов в каждом конкретном случае необходимо определиться с оптимальным составом бурового раствора. В связи с этим были проведены лабораторные исследования с целью определения влияния традиционных глинистых буровых растворов на фильтрационные свойства пород.

Результаты экспериментальных исследований и их обсуждение

Экспериментальные исследования выполнены на установке АКМ-коллектор. Процесс фильтрации буровых глинистых растворов моделировался на насыпных кварцевых пористых средах различного фракционного состава, имеющих проницаемость от 0,3 до 12,8 мкм^2. В опытах использовались буровые глинистые растворы плотностью от 1080 до 1570 кг/м^3 на основе бентонитовой глины с добавкой при необходимости утяжелителя (барита). Насыпные пористые среды насы-

щались водой, после чего определялась их проницаемость по воде. Затем в пористую среду при постоянной скорости закачивался буровой раствор. Задавка проводилась в течение 200 мин., т.к. это время по данным (Абдуллин и Рахматуллина, 2005) достаточно для образования глинистой корки. За это время в образец пористой среды также поступал как фильтрат бурового раствора, так и глинистые частицы, размер которых был сопоставим с размерами пор испытуемой пористой среды. После осуществления вышеуказанного процесса через пористую среду начинали фильтровать воду со стороны противоположной той, откуда задавливался буровой раствор. Все эксперименты проводились при температуре 20^0С.

Исследования проводились в следующей последовательности. Вначале изучалось влияние плотности бурового раствора, а затем проницаемости породы на особенности фильтрации буровых растворов в породу. При этом в первом случае проницаемость составляла $1053 \cdot 10^{-3}$ мкм^2, а плотность бурового раствора изменялась от 1080 до 1900 кг/м^3, во втором случае проницаемость пористой среды изменялась от 380 до $12880 \cdot 10^{-3}$ мкм^2, а значение плотности бурового раствора было постоянным и составляло 1250 кг/м^3.

За критерий загрязненности пористой среды буровым раствором принимали фактор остаточного сопротивления (величина, представляющая собой отношение проницаемостей пористой среды по воде до и после ее обработки буровым раствором) при установлении постоянного перепада давления, а также степень восстановления проницаемости. Полученные в результате экспериментов данные сведены в таблице. Для более наглядного представления воздействия буровых растворов на проницаемость пород и на степень восстановления водопроницаемости были построены зависимости степени восстановления водопроницаемости и фактора остаточного сопротивления от плотности бурового раствора (рис.1) и степени восстановления водопроницаемости и фактора остаточного сопротивления от водопроницаемости (рис.2) после обработки буровым раствором.

Результаты экспериментов по воздействию буровых растворов на проницаемость пород

Плотность бурового раствора, кг/м^3	Проницаемость породы по воде, 10^{-3} мкм^2		Фактор остаточного сопротивления	Степень восстановления
	До обработки	После обработки		
1250	380	31,6	12	8,3
	750	83,3	9	11,1
	1053	157,1	6,7	14,9
	1450	290	5	20
	2730	910	3	33,3
	4380	2433,3	1,8	55,5
	8370	6539	1,3	78,1
	12880	10733,3	1,2	83,6
1080	1053	702	1,5	66,6
1120		351	3	33,3
1250		157,2	6,7	14,9
1350		117	9	11,1
1490		95,7	11	9,1
1670		81	13	7,7
1750		75,2	14	7,1
1900		70,.2	15	6,7

Анализируя данные таблицы и рис.1, можно констатировать, что чем выше плотность глинистого бурового раствора при воздействии на пористые среды с постоянной проницаемостью, тем выше фактор остаточного сопротивления (см. рис.1 кр.2) и ниже степень восстановления проницаемости пород (см. рис.1 кр.1). В то же время из таблицы и рис.2 видно, что чем ниже проницаемость пористой среды, тем выше фактор остаточного сопротивления (см. рис.2 кр.2) и ниже степень восстановления проницаемости пород (см. рис.2 кр.1). Причем, как видно из рис.1, для пористой среды с проницаемостью $1053 \cdot 10^{-3}$ мкм^2 существуют плотности бурового раствора (1089, 1120 кг/м^3), при которых степень восстановления проницаемости максимальна, а фактор остаточного сопротивления минимален (1,5-3). Из рис. 2 видно, что для плотности бурового раствора 1250 кг/м^3 также существуют проницаемости пористой среды ($2730 \cdot 10^{-3}$ мкм^2 и выше), при которых степень восстановления проницаемости максимальна (33,3-83,6 %), а фактор остаточного сопротивления минимален (3- 1,2).

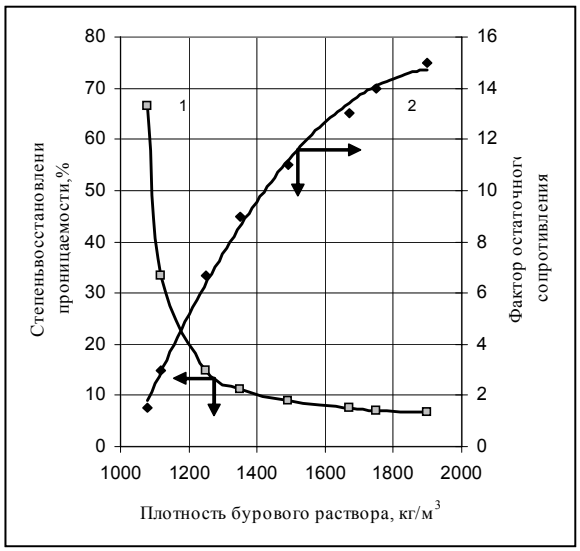


Рис. 1. Зависимость степени восстановления проницаемости (кр.1) и фактора остаточного сопротивления (кр.2) от плотности бурового раствора после обработки пористой среды буровым раствором

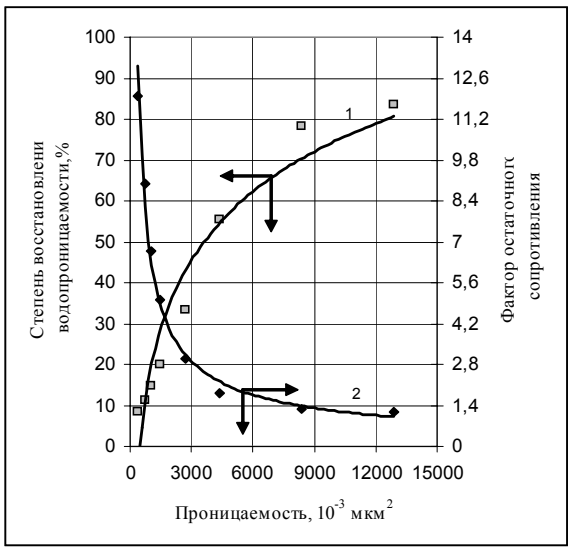


Рис. 2. Зависимость степени восстановления проницаемости (кр.1) и фактора остаточного сопротивления (кр.2) от проницаемости пористой среды после обработки ее буровым раствором

Заключение

Таким образом, проведенный цикл исследований показал, что при подборе рецептур глинистого бурового раствора, обеспечивающего минимально негативное воздействие на продуктивный пласт, наряду с плотностью буровых растворов необходимо учитывать и проницаемость продуктивных коллекторов. Поэтому, регулируя параметры буровых растворов с учетом фильтрационно-емкостных свойств горных пород, можно обеспечить успешное вскрытие продуктивного пласта и, как следствие, потенциальный дебит вводимых в эксплуатацию скважин.

ЛИТЕРАТУРА

АБДУЛЛИН, Р.Н., РАХМАТУЛЛИНА, А.Р. 2005. Инструментальная оценка качества вскрытия пластов по данным расширенного комплекса ГИС. В сборнике научных трудов Международной научно-технической конференции: *Повышение качества строительства скважин*. Уфа. 226-230.

Рецензент: д.т.н. Р.А.Мусаев

ГЕОГРАФИЯ

© Б.А.Будагов и др., 2008

ПРИРОДНЫЕ И АНТРОПОГЕННЫЕ КАТАСТРОФЫ НА ТЕРРИТОРИИ АЗЕРБАЙДЖАНА

Б.А.Будагов[1], Р.М.Мамедов[1], Э.К.Ализаде[1], Ф.А.Иманов[2], И.Э.Марданов[1], А.И.Искендеров[3]

1 – *Институт Географии НАН Азербайджана,*
2 – *Бакинский Государственный Университет,*
3 – *Министерство Экологии и Природных Ресурсов Азербайджанской Республики*
e-mail: ramiz.mamedov@geo.ab.az

Азербайджанская Республика, расположенная в активном горном поясе, является одной из территорий, где интенсивно развиты разрушительные процессы природного и антропогенного происхождения. В статье дается оценка влияния на экологическую среду селей, оползней, наводнений и других природно-разрушительных явлений и процессов, активизирующихся из года в год под совместным воздействием природно-антропогенных факторов. При выявлении роли селей и оползней в деградации горных и равнинных геосистем, которые широко развиты на Большом Кавказе и частично на Малом Кавказе, определяются также и особенности их развития. Определен объем ущерба, причиненного хозяйству страны разливом рек Кура и Араз, а также затоплением береговой зоны в результате поднятия уровня Каспийского моря

Из общей площади (86,6 тыс. км$^{2)}$ Азербайджана на долю гор и предгорий приходится 49,6 тыс. км^2 или более 57%. Модуль суммарного стока наносов колеблется в больших пределах: от 12 т/км^2 в Лянкяранской области до 3486 т/км^2 на южном склоне Большого Кавказа. На реках северо-восточного склона Большого Кавказа модуль эрозии изменяется от 532 т/км^2 (р. Гарачай) до 2025 т/км^2 (р. Ханалыгчай), а на реках южного склона Большого Кавказа – от 222 т/км^2 (р. Огузчай) до 3486 т/км^2 (р. Дамарчик).

Наибольшее развитие оползней и оползне-селевых потоков наблюдается в речных бассейнах Большого Кавказа. Общая площадь оползневых массивов, распространенных в пределах этого региона, составляет 1467 км^2 или 58,8% от площади речных бассейнов и их селевых очагов.

В Азербайджане наводнения происходят в основном на реках Кура и Араз. На большинстве рек республики максимальные расходы воды наблюдаются во время весеннего/весенне-летнего половодья.

В статье также рассмотрено затопление прибрежной зоны Азербайджана в результате подъема уровня Каспийского моря. Побережье страны разделяется на три части: северную, среднюю и южные, и для каждой части определен экологический и материальный ущерб, а также площади затопления. Они представлены в виде таблиц.

В статье приведен ущерб, нанесенный окружающей среде оккупированных территорий, в результате армяно-азербайджанского конфликта. На основе цифровых спутниковых снимков показано, что в результате пожаров на этих территориях Азербайджана 63 414 га пастбищ, пашен и земельных насаждений были выжжены, верхний плодородный слой почвы, сгорев, стал непригодным, а в атмосферу было выброшено огромное количество вредных веществ. Весь ущерб, нанесенный окружающей среде, оценивается в 1 594 688 247 манат (AZN) или же в 181 213 917 долларов США. В основном пострадали охраняемые территории.

Селевые потоки. Опасные стихийно-разрушительные явления продолжают оставаться острой проблемой для большинства горных регионов. Такие экзодинамические процессы, как сели, создают напряженную экологическую обстановку и носят катастрофический характер. Для снижения экологической опасности селей в районах их развития необходимо выявлять возможности прогнозирования и заблаговременно принимать профилактические защитные меры. Объективность экогеоморфологического и ландшафт-

ного прогноза определяется качеством материалов, на которых он основывается, позволяет судить о характере и силе селевых процессов и об экологической опасности, которую они создают.

Из общей площади республики в 86,6 тыс. км^2 на долю гор и предгорий приходится 49,6 тыс. км^2 или более 57%. Преимущественно горный характер рельефа является определяющим фактором, обуславливающим разнообразие климата, пестроту почвенного и растительного покрова, многообразие современных ландшафтов, а также формирование и происхождение селевых потоков.

Областью формирования интенсивного поверхностного стока являются высотные пояса площадью 28,6 тыс. км^2 или 53% территории, расположенные на отметках выше 500 м. Территория ниже 500 м (58 тыс. км^2 или 67%) представляет собой область аккумуляции селевых выносов, переформирования и потерь речного стока.

Классическим районом распространения селевых потоков является южный склон Главного Кавказского хребта с резко расчлененным нивально-ледниковым, ледниково-эрозионным и эрозионно-денудационным рельефом.

Все селеносные реки, стекающие с южных склонов Главного Кавказского хребта, северо-восточного склона Бокового хребта, частично северо-восточного склона Малого Кавказа и юго-западного склона Зангезурского хребта образуют обширные конусы выноса, на которых откладывается значительная часть селевой массы. Участки между конусами выноса и селевыми очагами протяженностью 10-15 км являются транзитными частями рек.

Развитию селей в пределах горных территорий Большого и Малого Кавказа способствует литологический состав слагающих их пород – юрских глинистых сланцев и глинисто-песчано-мергельных фаций мезозойского и палеогенового флиша, которые, в частности, обуславливают формирование селевых очагов.

Исходя из вышесказанного, следует, что по горным территориям происходит весьма неравномерный по интенсивности смыв. Модуль суммарного стока наносов колеблется в больших пределах: от 12 т/км^2 в Лянкяранской области до 3486 т/км^2 на южном склоне Большого Кавказа. Наиболее высокими величинами модуля эрозии отличаются реки Большого Кавказа. На реках северо-восточного склона Большого Кавказа модуль эрозии изменяется от 532 т/км^2 (р. Гарачай) до 2025 т/км^2 (р. Ханалыгчай), а на реках южного склона Большого Кавказа – от 222 т/км^2 (р. Огузчай) до 3486 т/км^2 (р. Дамарчик).

На реках Малого Кавказа величина модуля эрозии изменяется от 21 т/км^2 (р. Геранчай) до 321 т/км^2 (р. Левчай). Реки Ленкоранской области характеризуются сравнительно меньшими значениями модуля эрозии. Только в бассейне р. Виляшчай модуль эрозии доходит до 235 т/км^2 .

Формирование и прохождение селевых потоков в этих областях Азербайджана обусловлено в основном интенсивностью поверхностного смыва, величиной модуля эрозии, что также четко определяет повторяемости прохождения катастрофических селевых потоков.

Вообще, селевые потоки Азербайджана имеют в основном дождевое-ливневое происхождение. В формировании и прохождении катастрофических селевых потоков в пределах Азербайджана особую роль играют количество и режим выпадающих атмосферных осадков.

В соответствии с особенностями рельефа и циркуляции атмосферы наблюдается большая неравномерность в территориальном распределении осадков, особенно, ливневых. Наибольшее количество осадков выпадает в горах (за исключением Ленкоранской области) в зонах распространения селевых очагов и накопления рыхлообломочного материала.

В период образования и прохождения селей высокогорные районы Азербайджана получают почти вдвое больше осадков, чем равнинные районы. В апреле-сентябре в высокогорных районах южных склонов Большого Кавказа выпадает боле 800 мм осадков, на его северо-восточных склонах – 500-600 мм, а в горах Малого Кавказа и в Нахчыванской АР – около 400 мм, что составляет приблизительно 60-65% их годового количества. В наиболее селеносных областях южного склона Большого Кавказа наибольшая суточная величина ливневых осадков достигает в отдельных случаях 100-200 мм. В этих районах нередко за 1,5-2 часа выпадает до 60-70 мм осадков. 17 августа 1959 г. на южном склоне Большого Кавказа было зарегистрирован са-

мый интенсивный ливень (10,7 мм/мин.), который вызвал катастрофические селевые потоки. Следует отметить, что селевые потоки, их прохождение полностью соответствуют периодам выпадения интенсивных ливневых осадков (более 30 мм).

В пределах классического селеносного района – южного склона Большого Кавказа – ливни с суточным количеством осадков в 50-60 мм наблюдаются почти ежегодно. После продолжительного засушливого весенне-летнего периода выпадение таких интенсивных ливневых осадков сопровождается прохождением катастрофических селевых потоков в реках Балокенчай, Гурмухчай, Шинчай, Кишчай, Дамирапаранчай других. Это обусловлено наличием в пределах высокогорья нивально-скалистого пояса и его особенностями. В пределах этого пояса как в зоне Большого, так и в зоне Малого Кавказа в условиях крутых склонов протекает интенсивное выветривание. Выветривание, являясь основным рельефообразующим процессом, способствует формированию рыхлообломочного материала на подошвах склонов. Подошвы почти всех склонов обрамлены шлейфами конусов осыпей. Более крупные продукты выветривания, гравитационные накопления россыпей откладываются прямо в руслах водотоков. Огромное количество этого материала представляет собой селевые очаги – районы формирования твердой фазы селевых потоков. Интенсивное накопление рыхлообломочного материала также обусловлено литологическим составом коренных пород, преобладающей частью которых являются терригенный флиш юрских и меловых сланцев, песчаников и известняков. Все эти условия благоприятствуют формированию и прохождению селевых потоков каждые 3-5 лет со скоростью 5-7 м/сек.

В отличие от обычных паводков селевые потоки обладают огромной разрушительной силой, исходящей от их гидродинамических особенностей. Двигаясь волнами, они выводят из строя гидротехнические сооружения, разрушают мосты и дороги, населенные пункты, наносят большой экономический ущерб и нередко сопровождаются человеческими жертвами.

Селевые явления являются наиболее опасным фактором, они усиливают экологическую напряженность и приносят большой ущерб хозяйству и населенным пунктам (рис.1).

Легенда картосхемы селевой опасности территории Азербайджана:

I. Очень напряженные территории с высокой селевой опасностью (раз в 2-3 года возможен 1 сильный сель) - V баллов;

II. Напряженные территории со средней селевой опасностью (раз в 3-5 лет возможен 1 сильный сель) - IV балла;

III. Территории со слабой селевой опасностью (раз в 5-10 лет возможен 1 сильный сель) - III балла;

IV. Территории с потенциальной селевой опасностью - II балла;

V. Территории, где не наблюдается селевых явлений - I балл;

a- высокогорные территории, b- среднегорные территории, c- низкогорные территории.

Огромное значение имеют детальное исследование динамики развития и расширения селевых очагов, ход накопления готовых селевых материалов к сносу, изучение тенденции изменения направления русел рек и пойм, инженерно-геоморфологического состояния берегов и защитных сооружений, потенциального направления прорыва селей и на этой основе проведение эколого-геоморфологических мероприятий долин рек с целью стабилизации экологической обстановки. Своевременная информация об угрозе развития таких опасных явлений, как сели, позволит довести экологический риск до минимума.

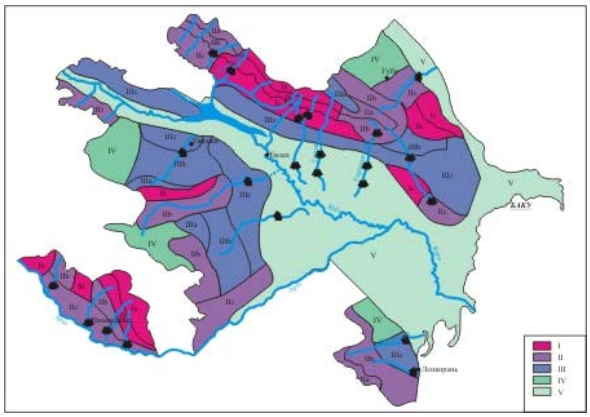


Рис. 1. Картосхема селеопасности Азербайджана

Оползни. В последние годы повысился интерес к проблеме риска антропогенных и природных катастроф. Эта проблема связана с нестабильностью природной среды, не связанной с деятельностью человека и с резким увеличением техногенной нагрузки на природу, приводящей к нарушению структуры и функционирования ландшафтов. В результате возникает проблема, одной из важных составляющих которой является оценка риска опасных и неблагоприятных природных явлений. Анализ неблагоприятной обстановки и оценка риска позволят своевременно избежать возможной опасности или же уменьшить ущерб и определить пути управления риском.

Оползни являются одним из наиболее распространенных природных явлений. Экологические последствия проявления оползней связаны со смещением огромного объема грунтовых масс, что часто приводит к гибели людей, нарушению ландшафтов и разрушению сооружений. Также оползни сильно осложняют геодинамическую ситуацию в горных регионах.

Горные территории Азербайджана являются одним из классических районов распространения оползневых процессов. Имея азональное развитие, оползни одинаково широко развиты как в областях высокогорья и среднегорья, в условиях дислоцированных коренных пород юры и мела, так и в слабодислоцированных нередко горизонтально лежащих породах палеогена-неогена.

Наибольшее развитие оползни и оползне-селевые потоки получили в речных бассейнах Большого Кавказа. Общая площадь оползневых массивов, распространенных в пределах этого региона, составляет 1467 км^2 или 58,8% от площади речных бассейнов и их селевых очагов.

Основными разновидностями оползневой морфоскульптуры, встречающимися на Юго-Восточном Кавказе являются оползни действующие, закрепленные и оползне-селевые потоки. В высокогорье в основном распространены древние оползневые морфоскульптуры. Однако здесь же встречаются и действующие, а иногда и оползневые потоки. Они характерны для бассейнов рек Гусарчай и Гудиалчай, где оползневые потоки, стекающие со склонов Бокового хребта Большого Кавказа, формируют маломощные грязевые потоки. Действующие оползни и оползне-селевые потоки характерны для склонов гор и синклинальных плато среднегорья и низкогорья. Крупные оползневые массивы распространены в пределах бассейнов рек южного склона Большого Кавказа: Гирдыманчай, Гейчай и Пирсагатчай.

К особым разновидностям геодинамических склоновых процессов следует отнести широко развитые в пределах Юго-Восточного Кавказа оползне-селевые потоки, двигающиеся со скоростью до 3-5 м в сутки. Во время ливневых дождей эта масса, сползая в русла рек, приобретает характер типичного грязевого потока. При выходе же на конус выноса она отлагается в виде застывшей брекчии грязевого вулкана.

Наибольшее развитие оползни и оползне-селевые потоки имеют в речных бассейнах рек Гарачай, Вельвеличай, Гильгильчай, Атачай, Тугчай и Сумгайытчай на северо-восточном склоне Большого Кавказа, рр. Гейчай, Гирдыманчай, Ахсучай, Пирсагатчай на южном склоне Главного Кавказского хребта.

Площадные оползни (оплывины) не имеют четко ограниченного общего амфитеатра, а располагаются на склонах вдоль бортов рек. Происходит сползание склоновых накоплений с захватом на небольшую глубину (3-5 м) коренных пород. Площадные оползни охватывают площадь от нескольких десятков метров до 2 км. Они создают бугристый микрорельеф со сравнительно сглаженными формами. В заселенной зоне на них развит редкий и беспорядочно растущий лес. Чаще всего оплывины на склонах закладываются в эрозионных врезах, в местах пересечения ими водоносных горизонтов. Площадные оползни широко развиты в бассейнах рек Гусарчай, Гудиалчай, Гарачай, Агчай и др.

Оползни-потоки (ишгыны), стекающие в виде полужидкой грязевой массы, широко развиты в бассейнах рек Вельвеличай, Атачай, Гильгильчай, а также на склонах Ерфинской, Халтанской, Сохюбской, Нохурларской синклинальных котловин. К ним относятся Хызынский, Далигаинский, Атучский и другие крупные потоки площадью 10-15 км. Оползни-потоки распространены на склонах синклинальных плато, моноклинальных гряд

и хребтов в пределах аридных и полуаридных зон низкогорья Юго-Восточного Кавказа. К ним относятся оползневые потоки в бассейнах рек Атачай (Бахышлинский оползневой поток), Тугчай, Гильгильчай и местами в среднем течении р.Вельвеличай.

Оползни-обвалы являются переходной формой между оползнями и обвалами. Смещение блока пород на склонах начинается скольжением по поверхности трещин, отделяющих его от основного массива, что сближает это явление с оползнями. Затем движущийся блок пород дробится, и по достижении обрывистой части на склоне происходит его обрушение и быстрое скатывание блоков вниз со всеми признаками обвала. Этот вид процессов отмечается в высокогорной и среднегорной зонах Главнокавказского и Ниалдагского хребтов.

Из вышеизложенного следует, что активизация оползневых процессов на горных территориях Азербайджана в условиях усиливающегося антропогенного влияния (перевыпас скота, вырубка лесов и т.д.), требует детального исследования и систематического обобщения хода развития этого явления (рис. 2).

Легенда к картосхеме оползневой опасности территории Азербайджана:

I. *Высоконапряженные территории с очень активным развитием оползневых процессов (возможно развитие оползней на 65-70% территории) - V баллов;*
II. *Напряженные территории с активным развитием оползневых процессов (возможно развитие оползней на 50-65% территории) - IV балла;*
III. *Средненапряженные территории с интенсивным развитием оползневых процессов (возможно развитие оползней на 30-50% территории) - III балла;*
IV. *Территории с относительно слабым развитием оползневых процессов - II балла;*
V. *Территории, где не наблюдается оползневых процессов - I балл.*

Исследования возникновения и развития оползней, проведенные за последнее время, позволили выявить некоторые факторы-индикаторы, которые могут характеризовать дальнейший ход развития оползней. Они связаны не столько с природными или антропогенными факторами, сколько с их одновременным влиянием, а также деятельностью населения в местах, подверженных этим явлениям. Учет этих обстоятельств и составляет основу для создания концепции управления экологическим риском.

Наводнения. Высокие уровни на реках Азербайджана наблюдаются во время прохождения весеннего/весенне-летнего половодья и дождевых паводков. Особенности гидрологического режима рек республики подробно исследованы С.Г.Рустамовым (1960). Условия формирования максимальных расходов воды рек не только Азербайджана, но и всего Кавказа были обстоятельно изучены М.А.Мамедовым (1989).

На большинстве рек республики максимальные расходы воды наблюдаются во время весеннего/весенне-летнего половодья. Исключение составляют реки с относительно низкими высотами водосбора, а также реки Лянкяранской природной области и Абшерон-Гобустанского района, характеризующиеся паводочным режимом соответственно в холодное время года и в течение всего года.

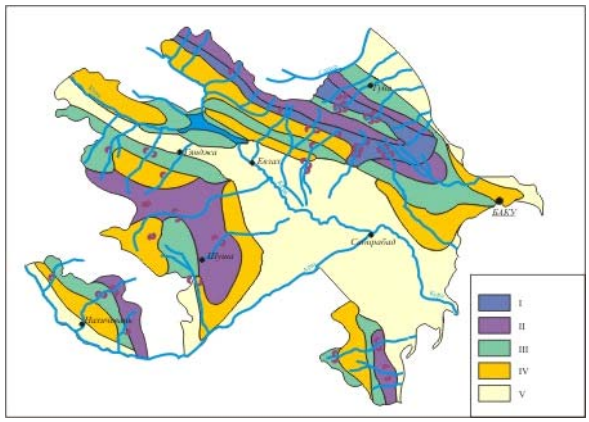


Рис. 2. Картосхема оползневой опасности территории

В различных частях Азербайджана максимальные расходы воды проходят в разное время (Рустамов, 1960; Рустамов, Кашкай, 1989):

1. На реках, стекающих с северо-восточного склона Большого Кавказа (от р. Самур до р. Пирсагат) при средней высоте водосбора до 1000 м максимум стока отмечается в апреле, от 1000 до 2000 м – в мае, от 2000 до 2500 м – в июне, выше 2500 м – в июле.

2. Для собственного бассейна Куры при средней высоте водосбора до 800 м максимум стока наблюдается в апреле, от 800 до 2000 м – в мае, выше 2000 м – в июне.

3. Для бассейна р. Араз до высоты 2200 м максимум стока отмечается в мае, а выше – в июне.

4. На реках Лянкяранской природной области максимум стока в северной и центральной частях наблюдается во второй половине марта, а в южной – в октябре.

Анализ гидрометрических данных по максимальным расходам воды на реках Большого и Малого Кавказа показывает, что более чем в 80% случаев время их наступления приходится на весенне-летний период. Эти максимумы формируются преимущественно талыми снеговыми водами при участии дождевых вод. Лишь в отдельные годы максимумы дождевых паводков превосходят весенние снеговые или смешанные максимумы.

Отношение средних многолетних величин максимального и годового стока (коэффициент паводочности, К) изменяется в большом диапазоне. Из-за широкого распространения трещиноватых вулканических пород в верховьях рек, стекающих с Гарабагского вулканического нагорья, коэффициент паводочности небольшой (К<4). Наибольшие значения этого коэффициента характерны для рек Лянкяранской природной области, которые характеризуются паводочным режимом (К=15-33). Для остальных рек республики К=5-12.

Однако не все ежегодно наблюдаемые половодья и паводки приводят к разрушительным последствиям, многие из них не вызывают наводнений. Катастрофический характер половодья или паводка может быть обусловлен чрезмерной интенсивностью снеготаяния, усугубляемого выпадением дождей, накладывающихся на талые воды, а также выпадением летом или осенью кратковременных ливневых и интенсивных дождей. В обоих случаях в руслах рек не вмещаются скопившиеся со всего водосбора воды, и они прорывают берега или переливаются через них, затопляя прибрежные пространства и нанося зачастую серьезный материальный ущерб экономике.

В Азербайджане наводнения наблюдаются в основном на реках Кура и Араз (рис.3).

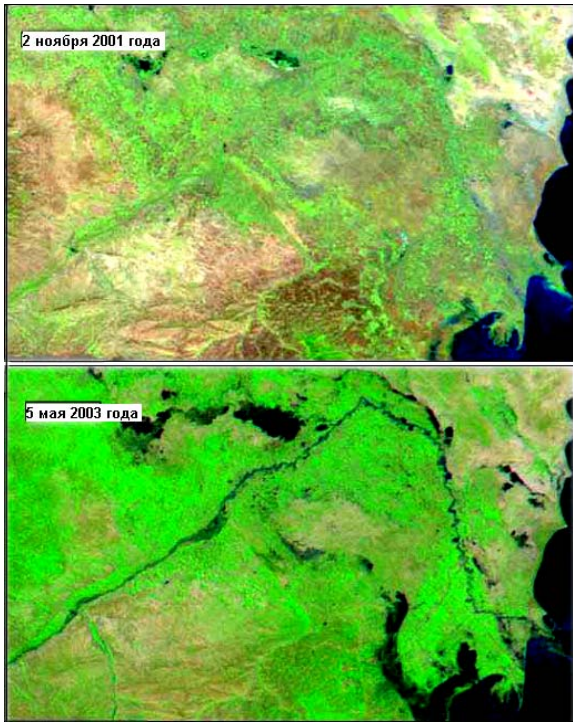


Рис. 3. Наводнения на реках Кура и Араз

В начале апреля 2003 года, в результате интенсивного снеготаяния, сопровождающегося выпадением дождей, расходы воды на реке резко возросли и наблюдалось наводнение. 6 мая в нижнем течении реки (в Нефтчалинском районе) вода вышла из берегов и, прорвав защитную дамбу, затопила сельскохозяйственные поля. В мае 2006 года в результате наводнения был затоплен город Алибайрамлы в нижнем течении реки Куры.

По данным стационарных гидрометрических наблюдений мощные паводки в бассейне реки Араз имели место в 1936, 1938, 1946, 1951, 1963, 1968 и 1969 годах. В апреле 1968 года наблюдалось катастрофическое наводнение, вызванное интенсивным снеготаянием и выпадением ливневых осадков. За 16-18 апреля в бассейне Араза выпало 50-100 мм осадков. Пик половодья был зафиксирован 18 и 19 апреля. Были затоплены низменные участки поймы шириной до двух км, так как русло было не в состоянии пропускать большое количество воды.

В период строительства гидроузла «Араз» в мае 1969 года в бассейне реки Араз произошло еще одно катастрофическое наводнение. Максимальные расходы воды по

величине превосходили все ранее наблюденные расходы. Максимальный расход воды данного наводнения превосходил и расчетный расход с 0,1% обеспеченностью.

Учитывая, что основные зоны формирования стока рек Араз и Евфрат расположены близко, был составлен хронологический график колебания максимальных расходов воды этих рек за период одновременных наблюдений с 1924 по 1972 гг. Была выявлена полная синхронность в колебании их максимальных расходов. По данным стационарных гидрометрических наблюдений за последние 50 лет высокие половодья были зафиксированы на обеих реках в одни и те же месяцы и годы (IV – 1940, IV – 1952, IV – 1969 и т. д.).

Катастрофический паводок в 1969 году был отмечен на реках Араз и Евфрат в начале мая. Максимальный расход этого паводка наблюдался на реке Араз около гидроузла «Араз» 5 мая, около станции Карадонлу 7 мая, а на реке Евфрат около Кебана 5 мая и около Хита 12 мая. Причем по величине максимальный расход 1969 года реки Евфрат также превосходил все ранее наблюдаемые значения. Коэффициент парной корреляции максимальных расходов воды реки Араз – Карадонлу и Евфрат – Табка равняется 0,82 (Мамедов, 1989).

В различных литературных источниках указывается на наводнения, имеющие место в бассейне Араза в прошлом столетии. Имеются сведения о наводнениях 1858, 1868, 1879, 1896 годов. Во время сильных наводнений река Араз изменяла свое русло. Такие изменения наблюдались в период наводнений в 1858 и 1896 годах.

Несмотря на то, что в Советское время выделялись солидные средства на защиту от паводков, все еще не удается предотвратить значительный материальный ущерб, наносимый наводнениями. Строительство водохранилищ, дамб и насыпей улучшило защиту от наводнений и сократило их масштабы, но другие виды вмешательства человека, такие как выравнивание речных русел и нерациональное землепользование вызвали усиление рисков и вероятности нежелательных явлений. Застройка и заселение пойм, некоторые из которых расположены в зонах, где часты паводки, также делают многие населенные пункты уязвимыми для наводнений.

Инфраструктура – автодороги, железные дороги, коммуникации, линии электропередач, трубопроводы, системы водоснабжения, и т.д., состояние которых из-за отсутствия средств для их поддержания ухудшалось в течение последних 15 лет, − подверглась дополнительным разрушениям вследствие наводнений.

Со времени строительства Мингячевирского водохранилища на Куре (в 1953 году) и Аразского на реке Араз (в 1970 году) масштабы наводнений значительно сократились. Однако интенсивное регулирование стока не спасает население от опасности наводнения. Возросшая частота наводнений и усиление поверхностной эрозии в бассейнах рек Кура и Араз ускоряют заиление этих водохранилищ и уменьшают их противопаводочный эффект. Так, максимальная глубина Мингячевирского водохранилища уменьшилась с 83 до 63 м.

Из-за отсутствия необходимой гидрометеорологической информации из других стран бассейна Куры крупные водохранилища эксплуатируются неэффективно, о чем свидетельствуют результаты наводнения в нижнем течении Куры в 2003 г.

Система питьевого водоснабжения в бассейне рек чрезвычайно чувствительна к паводковым явлениям. Например, в Азербайджане водоочистные сооружения не способны непрерывно очищать питьевую воду и снабжать ею Баку в течение нескольких дней после наводнения или паводка. Увеличивающееся содержание наносов во время наводнений и селей часто вызывает аварии систем водоочистки и водоснабжения.

Сельскохозяйственные потери вследствие наводнений также очень ощутимы, особенно с учетом социальной уязвимости сельского населения. Сильные наводнения зачастую уничтожают весь урожай и скот. Последствия наводнений не всегда проявляются сразу. Они могут оказать значительное воздействие на сельскохозяйственный сектор с течением времени через засоление, эрозию и опустынивание земель. Вред, наносимый паводками, часто влечет за собой другие природные катаклизмы, например, оползни. В соответствии с подсчетами совокупный ущерб, причиненный наводнением в нижнем течении бассейна Куры в 2003 году, составил 65 миллионов долларов США.

После строительства Аразского водохранилища на границе с Ираном частота наводнений значительно уменьшилась. Строительство Худаферинской плотины ниже Аразской, возможно, сократило риск наводнений далее вниз по течению, но проблема береговой эрозии осталась, и более того, стала еще более значительной. Наступление реки, особенно на равнинах, вызвало интенсивную береговую эрозию. Наблюдения показали, что произошло смещение русла реки в нескольких местах. Согласно результатам исследований, русло местами сместилось на 1 км, вызывая серьезную эрозию земель на иранском берегу. Похожие процессы наблюдаются на реке Ганых (Алазани) между Грузией и Азербайджаном, где наоборот, река размывает азербайджанский берег.

Главной социально-экономической причиной возросшего риска наводнений является недостаточное финансирование строительства и ремонта противопаводочных и защитных систем. К этому следует добавить отсутствие надлежащего мониторинга и системы прогнозирования стока, которые необходимы для эффективного раннего оповещения. Кроме того, страхование от наводнений в Азербайджане находится в зачаточном состоянии.

Недостаток знаний не позволяет произвести полную оценку и всеобъемлющий анализ влияния и последствий наводнений. Следует особо отметить нижеприведенное:

- Недостаточное количество станций гидрологического мониторинга и неэффективный обмен данными между прибрежными странами;
- Отсутствие достоверного и эффективного прогноза наводнений. Существующие подходы не удовлетворяют современным требованиям. Используются устаревшие технологии и оборудование.
- Отсутствие данных о частоте и масштабе наводнений, произошедших за последние двадцать лет ввиду неэффективности систем гидрологического мониторинга, т.е. невозможно оценить влияние глобального потепления.

Наводнение – это природное явление, которое будет происходить и в будущем, даже если антропогенное влияние будет сведено к минимуму. Единственный способ справиться с этим явлением заключается в создании эффективной системы предупреждения, которая позволит снизить ущерб от наводнений и смягчить их воздействие на окружающую среду.

Для предотвращения наводнений и устранение причин их возникновения требуются инвестиции, которые должны быть в первую очередь направлены на реабилитацию существующих противопаводочных систем. В дополнение к этому следует разработать стратегию по управлению рисками наводнений, а также национальный и региональный планы по всеобъемлющей реабилитации противопаводочных систем во всем бассейне Куры.

В Азербайджане, как и в других странах бассейна Куры, существует опыт предотвращения наводнений с помощью структурных мер, т.е. инженерных сооружений (водохранилищ, дамб, берегоукрепительных сооружений и т.д.). К сожалению, очень мало внимания уделяется неструктурным мерам (система раннего предупреждения, прогнозы наводнений, страхование от наводнений и т.д.).

Оценка и развитие институциональных, технических систем на национальном и региональном уровнях являются важнейшим шагом к развитию долгосрочной стратегии предотвращения наводнений в Азербайджане.

Подъем уровня Каспийского моря и затопление прибрежной зоны. Непостоянство уровня, который колеблется в больших амплитудах, является самой характерной особенностью Каспийского моря (рис.4.) (Mamedov, 2001). В прошлом неожиданные смены трансгрессий и регрессий оказывали влияние на судьбы целых этносов. По мнению Л.Н.Гумилева (1980), одним из факторов, подорвавших могущество древнего Хазарского государства, явилась внезапная трансгрессия Каспия в X в.н.э., затопившая значительную часть пастбищ в северном Прикаспии.

Каспийское море и его Азербайджанская прибрежная зона характеризуются значительным природно-ресурсным и экономическим потенциалом, рациональное использование которого имеет жизненно важное значение для прибрежных стран. Однако социально-экономическое развитие всего региона во многом зависит от изменения природных условий и в первую очередь от колебаний уровня Каспийского моря. На сегодня колебание уровня является основным проблемным вопросом этого моря.

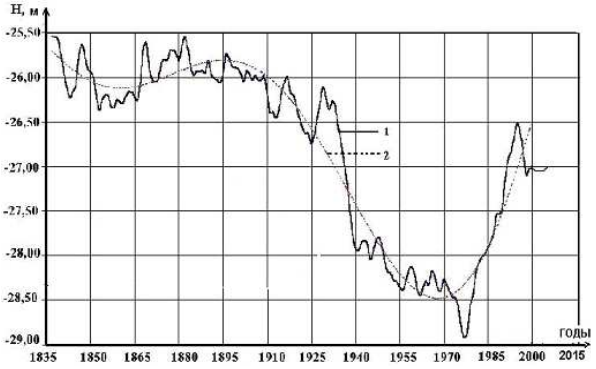


Рис. 4. Среднегодовые уровни Каспийского моря за период инструментальных наблюдений по данным Бакинского футштока. 1 – уровень; 2 – средняя тенденция изменения

В последнее время возрос интерес международных организаций к проблеме уровня Каспийского моря. Это определённым образом связано как с возросшим значением данного региона и его ресурсов для ведущих стран мира, так и с возможностью использовать накапливаемый здесь опыт решения проблем оптимизации природопользования в условиях значительного изменения уровня моря в качестве модели потенциальных последствий потепления климата.

В отличие от других регионов мира, где проблема влияния изменения уровня моря на хозяйственную деятельность человека является проблемой отдалённого будущего, в регионе Каспийского моря, особенно в его азербайджанском секторе, она уже актуальна. Последний подъем уровня Каспийского моря (1978-1995 гг.) нанес огромный ущерб социально-экономической жизни прибрежных зон прикаспийских стран. Экономический ущерб, нанесенный Азербайджану, оценивался в 2 млрд. долларов США, было затоплено около 450 км^2 площади прибрежной зоны, многие промышленные, социальные и жилищные строения остались под водой (National environmental…, 1988). Подъем уровня грунтовых вод изменил природные условия среды, в результате появились «экологические беженцы», а также новые болезни у населения, проживающего в этой прибрежной зоне.

При уровне моря -28,0 м длина береговой линии Азербайджана была равной 825 км, в том числе побережье в 225 км – абразионное, 340 – аккумулятивное, 68 – взаимопеременное, а 178 км – относительно стабильное. После подъема уровня побережье республики протяженностью более 600 км подвержено затоплению по всей береговой линии. Глубина возможного максимального затопления составляет 25-35 км, а подтопления – 35-40 км. В опасной зоне находятся города, населенные пункты и объекты народного хозяйства прибрежных районов республики и Абшеронского полуострова. В зоне катастрофических явлений оказались 7 городов и 35 населенных пунктов с общей численностью населения около 700 тысяч человек, более 1120 объектов животноводства

Для ряда городов и районов республики необходима была экстренная эвакуация целых населенных пунктов, промышленных и сельскохозяйственных объектов. Потребовался перенос практически всех автомобильных дорог, проходящих вдоль береговой линии от приграничной с Дагестаном Яламы до города Астара, расположенного на границе с Ираном.

Также требуется вынос всех линий связи и электропередач, проложенных вдоль береговой линии, что составляет более 200 тыс. км. Кроме того, под угрозой затопления и разрушения находятся все морские и стационарные платформы, причалы и защитные сооружения Бакинского порта.

Для определения экологического, материального ущерба и площади затопления, Азербайджанское побережье была разделено на три части: северную, среднюю и южные.

Северная часть (рис. 5). Еще 30 лет тому назад дельта одной из самых крупных рек республики р.Самур начала размываться в связи с уменьшением ее твердого стока. Подъем уровня усилил этот процесс. Уничтожены (смыты) тугайные леса. Участки побережья, расположенные южнее дельты, до подъема уровня моря были очень пригодны для санаторно-курортного строительства. Теперь же они и формировавшиеся за счет материала размыва дельты пляжи затоплены. Образовались лагуны, которые в дальнейшем могут превратиться в болота и вывести из строя отличные песчаные пляжи, загрязнить их. По нашим расчетам площадь затопления для Самур-Девечинской низменности составляет 40 км. Глубина проникновения моря на данном участке составляла 50-100 и 100-300м в год.



Рис. 5. Разрушение прибрежной зоны на северном побережье Азербайджана в результате подъема уровня моря

Средняя часть. В результате подъема уровня моря и этому участку нанесен серьезный ущерб. Так, в пределах поселков Мардакян, Бузовна под водой оказалась значительная часть пляжа со всеми сооружениями для отдыха. Волновая активность приводит к размыву песчаных валов в северо-западной части пос. Бузовна и проникновению на его территорию. Несмотря на то, что некоторые участки Абшеронского побережья сложены твердыми породами, площадь затопления здесь велика и составляет 80 кв.км. Большая часть (около 25 кв.км) приходится на долю района Шаховой косы. В результате дальнейшего подъема уровня моря на несколько десятков см на берегах Абшерона может произойти затопление водозаборов строительного комбината и нефтепромыслового района Бибиэйбат, подтопление северной ГРЭС, под угрозой остаются водоочистительные станции в районе поселка Говсан. От последнего подъема уровня только заводу глубоководных оснований нанесен ущерб около 100 миллионов долларов США.

В районе мысов Сангачал, Алят, Бяндован и на участке до 10 км южнее последнего усилился процесс абразии. Ширина размываемого участка в год составила 25-50 м при высоте берегового уступа от 2 до 4 м. Берега, расположенные бухтами, затоплены на общей площади 30 кв. км.

Южная часть. Значительные изменения после интенсивного подъема уровня Каспия произошли в районе дельты Куры. Низменная устьевая часть юго-восточного рукава затоплена морем. В общей сложности площадь затопленной дельты равна приблизительно 40 км^2. Из-за своей равнинности этот участок Азербайджанского побережья пострадал больше всех и было затоплено до 10 кв. км.

Южнее современной дельты р. Куры значительное пространство занимает равнина с заливами и уникальным заповедником Гызылагач. Залив отделен от моря с востока крупной Куринской косой, которая находится под угрозой затопления и размыва. В настоящее время залив размывается. В отдельные годы скорость размыва доходила до 15-20 м в год при высоте уступа от 1 до 2,5 м. В результате уже в 1980 году на самом узком месте косы образовался пролив, и это, безусловно, привело к изменению гидрологического режима залива в худшую сторону. Площадь затопления только на южной низменной части равна 20 кв.км. Сильно затоплены берега Гызылагачского залива и составляют 80 кв. км.

Береговая зона от г. Лянкяран до г. Астара, начиная с 1948 года, несмотря на подъем и падение уровня моря, постоянно подвергается абразии различной интенсивности. В результате подсчетов на основе наших многолетних исследований за последние 30 с лишним лет (1965-1996гг.) ширина размытого участка здесь равна в среднем 150м. Общая площадь размытого участка за это время составляет 4,5 млн. м^2 или 2450 Га, за год – 150 тыс. кв. М или 15 Га. Если принять среднюю высоту размываемого уступа равной 2м, то в год размывается 300 тыс.м^3, за вышеуказанное время – 9 млн.м^3 высокоплодородной земли. Как известно, железная дорога Баку-Астара на Лянкяран-Астаринском участке в результате размыва дважды переносилась вглубь суши. В настоящее время на большой протяженности она подмыта и создает опасность аварии. В таблице 1 приводятся затопленные и прогнозируемые площади прибрежных районов Азербайджанского побережья при различных стояниях уровня Каспийского моря (Будагов, Мамедов, 2000).

Таблица 1

Затопленные и прогнозируемые площади затопления прибрежных районов Азербайджанского побережья при различных стояниях уровня Каспийского моря

Административный район	Площадь района, кв.км	Длина береговой линии, км.	Площадь затопления до 1996 г., кв. км.	Прогноз площади затопления при уровне -25м, кв.км
Хачмасский	1065,6	66	20,7	11,7
Девечинский	1088,2	20,7	10,4	6,3
Сиазаньский	703,4	39,6	6,1	4,7
Хызынский	1667	32	3,1	1,3
Бакинский	2146,4	289,6	30,8	11,6
Сальянский	1502,3	11,7	0,6	0,6
Нефтчалинский	1451,7	94,6	362,9	356,6
Массаллинский	721	31,5	55,5	10,4
Лянкяранский	1539,4	35,1	356,6	30,5
Астаринский	616,4	21,1	10,5	13,5
Итого	14382,3	738	807,2	462,2

Благодаря выгодному экономико-географическому расположению республики, природным богатствам и ресурсам, Азербайджанское побережье является самым освоенным и густонаселенным регионом на Каспии (Мамедов, 2007). Прибрежная зона азербайджанского сектора с севера на юг включает в себя следующие административные районы: Хачмасский, Девечинский, Сиязаньский (сельскохозяйственные), Сумгайытский, Бакинский (городские), Сальянский, Нефтчалинский, Масаллинский, Лянкяранский и Астаринский (сельскохозяйственные).

Бакинская агломерация с населением более 3 млн. человек, занимающая все пространство Абшеронского полуострова и концентрирующая 40% населения и 2/3 промышленного потенциала Азербайджана, является природно-хозяйственной системой с высоким уровнем освоенности. В состав агломерации также входит значительная часть шельфа и акватории Каспийского моря, активно включенная в сферу социально-экономических процессов функционирования агломерации. Промышленность агломерации была представлена различными отраслями машиностроения (электротехника, радиотехника, приборостроение, производство нефтяного оборудования, судоремонтное), а также нефтедобывающей, нефтеперерабатывающей, нефтехимической, химической, легкой (текстильная, кожевенная, обувная), пищевой отраслями, черной и цветной металлургией. В границах агломерации развиты рекреация и интенсивное сельское хозяйство (овощеводство, молочно-мясное животноводство, цветоводство, плодоводство, и виноградарство). Баку – крупнейший порт на Каспии с паромной переправой. В таблице 2 показан ущерб, нанесенный экономике прибрежной зоны республики в связи с затоплением и подтоплением гражданских, промышленных сооружений и объектов транспортной структуры, инженерных коммуникаций и зоны отдыха. Надо отметить, что цены представлены в национальной валюте (манат) и соответствуют 1996 г.

Об ущербе, нанесенном окружающей среде оккупированных территорий в результате армяно-азербайджанского конфликта. В результате этого конфликта 20% территорий Азербайджана захвачено вооруженными силами Армении. Наряду с разрушением и разграблением деревень и городов Азербайджана, этот процесс сопровождается и нарушением экологического равновесия, уничтожением почвенного и растительного покрова, животного мира.

Таблица 2

Ущерб, нанесенный экономике прибрежной зоны Азербайджана в связи с последним подъемом уровня Каспийского моря (цены представлены в национальной валюте (манат) и соответствуют 1996 г.).

№	Наименование районов	Всего млн. манат	Гражд. строит-во	Промышл. и с/х строит-во	Объекты трансп. инфра-структуры	Инженер. комму-никации	Зоны отдыха
1	Хачмасский	1705	-	-	57	14351	3097
2	Девечинский	-	-	-	-	-	-
3	Сиазаньский	-	-	-	-	-	-
4	Хызынский	-	-	-	-	-	-
5	Абшеронский	157176	-	137876	2000	14300	3000
6	Сальянский	-	-	-	-	-	-
7	Нефтчалинский	977555	31200	44336	11679	155	10385
8	Массаллинский	-	-	-	-	-	-
9	Лянкяранский	70766	311718	27058	9261	2190	549
10	Астаринский	51267	18169	27800	3601	947	750
	Итого по республике	394469	81087	199072	26588	31947	7396

Наиболее сильному и разрушительному воздействию подверглись леса, имеющие огромное рекреационное значение, отличающиеся богатым видовым составом. В лесах произрастает более 400 видов дикорастущих растений, из которых 70 являются эндемичными. Сегодня эти виды уничтожаются и вывозятся. В оккупированных зонах было 247 352 га лесных массивов, в том числе 13197,5 га ценных лесных массивов, 125 природных и 5 геологических памятников. Сегодня большинство этих памятников уничтожено. В районе Шуши было вырублено 1500 дубовых деревьев, выращенных искусственно в местности Хачаял.

В селении Гаракенд Ходжавендского района на площади 0,5 га уничтожено реликтовое азатское дерево третичной флоры. На территории Агдама более 400 платановых деревьев вырублено, полностью уничтожено 1092 га можжевелового леса в Лачинском районе. Многочисленные ореховые деревья вырублены и проданы за рубеж для изготовления мебели. С территории Кяльбаджарского района вырубаются и вывозятся на территорию Армении ценные деревья, включенные в «Красную книгу». Это расположенные на высоте 1500-2100 м деревья «Айы фынды-ги», они достигают высоты 25 м и диаметра 48-120 см. До 200 видов лекарственных растений при содействии зарубежных фирм вывозится за границу.

Наибольшему разрушению и разграблению подверглись особо охраняемые территории. Ценные виды деревьев, произрастающие на территориях Баситчайского Государственного природного заповедника, Государственных природных заказников в Лачинском, Губадлинском, Дашалтинском районах и ныне грабительски вырубаются и вывозятся за рубеж, а массовый отлов различных видов фауны обусловил сокращение их количества.

В настоящее время создано два больших рынка строительных материалов в Губадлинском районе (оккупированная территория), где проводится распродажа ценных пород деревьев и других природных ресурсов гражданам Ирана.

В июне-июле 2006 г. территории Агдамского, Физулинского, Джебраильского, Тертерского и Ходжавендского районов умышленно были сожжены. Пожарами были охвачены не только тысячи гектаров земель, оккупированных армянами, но и земли, контролируемые Азербайджаном, чем был нанесен огромный ущерб окружающей среде и живой природе.

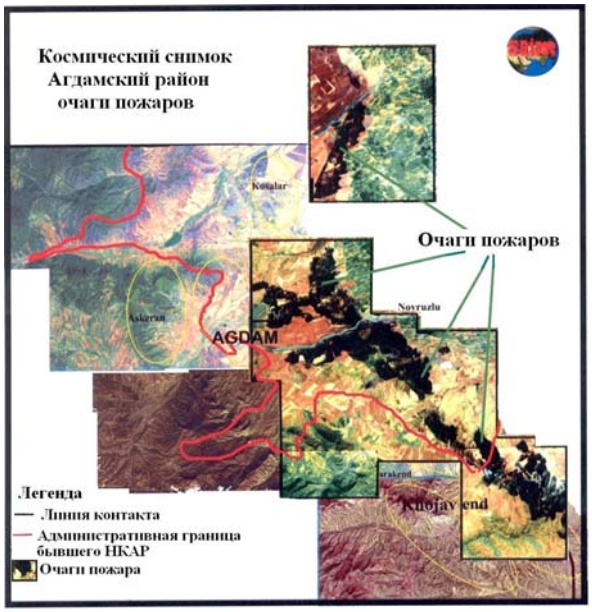


Рис. 6. Пожары на оккупированных территориях. Снимок получен через спутник

Во время осмотра было выявлено, что в Ходжавендском районе оккупированная территория была сожжена в направлениях «Наргиз тепе» и «Гара чухур». Пожары в Ходжавендском районе, распространившись и на территорию проживания азербайджанцев, полностью выжгли участки, называемые «Наргиз тепе» и «Гара чухур». В результате пожара древние могильные плиты, находящиеся в заповеднике-памятнике «Наргиз тепе» были рассечены и раздроблены, что является фактом кощунства и вандализма.

Пожары, умышленно произведенные на оккупированных территориях Азербайджана, зафиксированы на фотографиях, видео и снимках, полученных через спутник (см. рис. 6).

В общем, в результате пожаров, произведенных на оккупированных территориях Азербайджана, 63 414 га пастбищ, пашен и земельных насаждений были выжжены, верхний плодородный слой почвы, сгорев, стал непригодным, а в атмосферу было выброшено огромное количество вредных веществ. Весь ущерб, нанесенный окружающей среде, оценивается в 1 594 688 247 манат (AZN) или же в 181 213 917 долларов США.

ЛИТЕРАТУРА

БУДАГОВ, Б.А., МАМЕДОВ, Р.М. 2000. Социально-экономические последствия подъема уровня Каспийского моря на Азербайджанском побережье. В сб.: *Глобальные и региональные изменения климата и их природные и социальные и экономические последствия*. ГЕОС. Москва. 212-223.

ГУМИЛЕВ, Л. И. 1980. История колебания уровня Каспия за 2000 лет (с IV в. до н.э. по XVI в н.э.). В сб.: *Колебания увлажненности Арало-Каспийского региона*. Москва. 29-41.

МАМЕДОВ, М.А. 1989. Расчеты максимальных расходов воды горных рек.. Гидрометеоиздат. Ленинград. 184.

МАМЕДОВ, Р.М. 2007. Гидрометеорологическая изменчивость и экогеографические проблемы Каспийского моря. Элм. Баку. 437.

РУСТАМОВ, С.Г. 1960. Реки Азербайджанской ССР и их гидрологические особенности. Изд-во АН Азерб ССР. Баку. 196.

РУСТАМОВ, С.Г., КАШКАЙ, Р.М. 1989. Водные ресурсы Азербайджанской ССР. Элм. Баку. 180.

MAMEDOV, R.M. 2001. Caspian Sea Level and Ecological problems. International Symposium on the Problems of the Regional Seas. Istanbul-Turkey. 1-11.

National Environmental Action Plan in Azerbaijan Republic. 1988. Press-Alyans. Baku.

© Р.М.Кашкай, 2008

ФОРМИРОВАНИЕ РЕЧНОГО СТОКА, ЕГО РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И ПУТИ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПО ТЕРРИТОРИИ АЗЕРБАЙДЖАНА

Р.М.Кашкай

Институт Географии НАН Азербайджана
AZ1143, Баку, просп. Г.Джавида, 31

В статье приводятся итоги многолетних исследований автора, связанные с вопросами формирования и прохождения стока горных рек, влияния на сток различных природных факторов, и предлагаются наиболее приемлемые методы определения отдельных источников питания рек, в том числе подземного стока. Приводится карта подземного стока Азербайджана. Дается методика определения естественной зарегулированности рек. Предлагаются пути рационального использования водных ресурсов и мероприятия по переброске и перераспределению речного стока по территории республики.

В целях полного и рационального использования водных ресурсов (обводнение засушливых территорий, водоснабжение населения и т.д.) требуется разработка наиболее эффективных путей исследования стока рек и его составляющих, выявление закономерностей его формирования и прохождения, а также изыскание путей его рационального использования. С этой точки зрения выявленные автором закономерности, а также взаимосвязи элементов речного стока и природных факторов приобретают важное научное и практическое значение и позволяют определить характер формирования стока, его внутригодовое и многолетнее распределение по территории и высотным поясам. Актуальность проведенного исследования определятся еще и тем, что Азербайджан – это страна малых горных рек, центральную часть которой занимает Кура-Аразская низменность, где испарение намного превышает сток. Выращивание же 83% всей продукции сельского хозяйства происходит именно на этой территории, что без применения искусственного орошения невозможно. Большие масштабы водопотребления требуют огромных водных ресурсов и приводят к необходимости их всестороннего планирования и охраны от загрязнения. В отличие от других природных богатств, водные ресурсы обладают способностью постоянного возобновления благодаря круговороту влаги в природе. Это создает уверенность в достаточной водообеспеченности всех потребностей человека в будущем. Между тем водные ресурсы республики ограничены. Находясь в среднем и нижнем течении двух межгосударственных рек Кура и Араз, она имеет приток речных вод из сопредельных государств : Турции, Ирана, Грузии, Армении, Дагестана. Сток рек, формирующийся на территории республики, очень мал. Основным источником водных ресурсов республики являются воды малых, горных рек и их подземная составляющая. Неравномерное распределение речного стока по территории республики и внутри года также создает неблагоприятные условия для эффективного использования водных ресурсов. Создаваемые на реках водохранилища многолетнего и сезонного регулирования в какой-то мере решают проблему орошения. Однако вопрос обеспечения водой населения городов, сел и поселков городского типа остается насущным на сегодняшний день.

Непрерывно изменяясь в пространстве и во времени в ходе круговорота воды в природе, все источники водных ресурсов (осадки, сток испарение) тесно взаимосвязаны.

Изучение формирования речного стока любой горной страны сопряжено с рядом сложностей, обусловленных резкими контрастами природных условий. Без учета взаимодействия этих факторов и влияния их на речной сток вряд ли можно выявить основные закономерности изменения стока и его составляющих.

Основная роль в формировании стока принадлежит осадкам, и они зачастую опре-

деляют соотношение между остальными элементами круговорота воды в природе: поверхностным и подземным стоком, испарением, почвенной влагой и др. Поэтому правильное определение осадков играет первостепенную роль в познании закономерностей формирования поверхностного стока и процесса образования рек той или иной территории.

Произведенные нами расчеты позволили выявить 13 зависимостей между осадками и средней высотой водосборов, из коих 4 характеризуют Большой Кавказ, 6 – Малый Кавказ и 3 – Лянкяранскую природную область. В дальнейшем полученные 13 зависимостей по другим элементам будут также характеризовать эти природные области (Кашкай, 1991).

Характер выпавших на поверхность осадков (в виде снега или дождей), формируя речной сток, влияет также на годовой режим рек. Поэтому высотное положение водосбора является ведущим показателем, определяющим характер формирования стока.

Поверхностный сток в Азербайджане, образуемый снеговыми и дождевыми водами, равен 6,0 км^3 или 58% объёма годового стока местных рек. Остальной объём годового стока (4,3 км^3 или 42%) формируется за счет подземных вод, питаемых просочившимися снеговыми и дождевыми водами.

Выпавшие на поверхность осадки претерпевают большие изменения. При малопроницаемых почво-грунтах сток, его подземная и поверхностная составляющие зависят от уклонов склонов и от особенностей распределения этих грунтов, причем поверхностный сток превалирует над подземным. При хорошо проницаемых почвах величина подземной составляющей речного стока и его зарегулированность увеличиваются.

Немалое значение в формировании речного стока имеет геологическое строение территории. Пополнение и перемещение подземных вод в сильной степени зависят от проницаемости почво-грунтов, от пространственного положения русла реки по отношению к падению и простиранию водоупора. Так, в верховьях рр. Тертер, Акера, Базарчай и др. независимо от лесистости поверхностные воды просачиваются в вулканические породы, формируя крупные подземные потоки, которые ниже выклиниваются в виде родников или больших ручьев, создавая азональность в распределении подземного стока. Поэтому одной из главных задач, стоявших перед нами, являлся поиск метода определения подземного стока в реки, применимого в горных условиях.

Известно, что в меженные периоды реки питаются почти исключительно подземными водами. В зависимости от геологического строения речных бассейнов и степени водопроницаемости горных пород, условия питания рек подземными водами не остаются постоянными. Например, в питании рек доля подземного стока на Малом Кавказе, где в основном развиты вулканогенные, трещиноватые породы, значительно больше, чем в Лянкяранской природной области, в которой преимущественно распространены осадочные породы. Следовательно, геологические условия обуславливают естественную зарегулированность речного стока.

Наглядным показателем естественной зарегулированности годового стока является соотношение минимальных годовых расходов к среднегодовым, т.е.

$$\partial = \frac{Q_{\min}}{Q_{ср}},$$

где ∂ - естественная зарегулированность стока Q_{min} - минимальная наблюдаемая величина стока, $Q_{ср}$ - средний годовой сток.

В условиях Азербайджана наиболее характерные наблюдаемые малые расходы воды приурочены к летней и зимней межени. На реках республики минимальные расходы отмечаются преимущественно в июле-августе. Но вместе с тем на реках с высокими водосборами минимальные годовые расходы наблюдаются и зимой. Исходя из генетических особенностей меженных периодов, и в связи с разновременностью наступления меженных расходов и различиями в их продолжительности целесообразно подойти к подсчету коэффициента естественной зарегулированности дифференцированно, т.е. для каждого года установить летние и зимние коэффициенты, выражаемые соответственно:

$$\partial_l = \frac{Q_{VII} + Q_{VIII}}{Q_{ср}}; \quad \partial_Z = \frac{Q_{XII} + Q_{II}}{Q_{ср}}$$

Вполне очевидно, что при значениях этих коэффициентов >1 период считается водообеспеченным, а при значениях <1 наблюдается недостаток в воде.

Исследования показали, что зависимость подземного питания рек от коэффициента годовой естественной зарегулированности выражена довольно слабо. В некоторых случаях связь между этими элементами вовсе отсутствует. Примерно такая же картина наблюдается при анализе зависимости $U=f(\partial_z)$, здесь U – подземный сток в реки, ∂_z – коэффициент зимней зарегулированности. Это объясняется генетической разнородностью формирования стока в реки в зимний период и в годовом цикле. Наиболее однородные условия формирования стока в реки имеют место в летние периоды ∂_l, в частности в июле-августе, в период вегетации растений, когда дожди почти отсутствуют и русловой сток происходит главным образом за счет подземных вод.

Коррелятивная зависимость $U=f(\partial_l)$ (рис.1) носит дифференцированный характер, обусловленный геологическими факторами. Чем ближе геологические условия речных бассейнов, тем кривые связи $U=f(\partial_l)$ сближаются. Примером служат реки Малого Кавказа (кривые 3, 5), являющиеся правыми притоками р.Куры (Кашкай, 2006).

Анализ современного водного баланса, познание закономерностей, определяющих его структуру, взаимосвязь и взаимодействие между отдельными элементами речного стока и природной средой невозможны без глубокого анализа условий формирования стока и его составляющих, без изучения его циклических колебаний, распределения по территории и внутри года.

Территория Азербайджана, за исключением его северо-восточной части (междуречье Самур-Пирсагат) и Лянкярани (междуречье Болгарчай-Астарачай), входит в бассейн р. Куры, т.е. почти 3/4 всей площади Азербайджана обеспечивается водами бассейна р.Куры. Территория республики располагается в нижнем и частично среднем течении рр. Кура и Араз и по своему географическому положению имеет только приток речных вод из сопредельных районов. Отток речных вод из Республики совершенно отсутствует.

Для выявления закономерностей распределения стока по территории важное значение имеет размещение водомерных постов по высотным поясам. К сожалению, здесь наблюдается большая неравномерность При абсолютной высоте горных вершин в 4500 м на северном склоне Большого Кавказа речной сток учитывается только до средней высоты 2940 м, а на южном – до 2430 м. Однако на Малом Кавказе сток учитывается до средней высоты 3070 м. В Лянкяранской природной области охвачены все высотные зоны – при наибольшей высоте 2500 м речной сток учитывается до средней высоты 2090 м.

Что касается продолжительности наблюдений, то в последние годы все чаще высказываются обоснованные суждения о том, что длинные ряды наблюдений дают далеко не всегда приемлемые результаты. Главным в решении этого вопроса должны явиться охват и законченность одного цикла (многоводного и маловодного) в многолетнем колебании стока, а не количество лет. Поэтому при расчете речного стока необходимо использовать не чисто статистический, а генетический метод.

Формирование речного стока, характер его прохождения, т.е. распределение внутри года, нельзя рассматривать без составляющих его элементов.

Анализ природных условий показывает, что в Азербайджане основными источниками питания рек являются талые воды сезонных снегов, дождевые и подземные воды. Ледников в Азербайджане очень мало. Ни один из перечисленных источников в питании рек самостоятельного участия не принимает, т.к. высота местности по-разному влияет и на питание рек по их длине. Поэтому реки имеют смешанное питание, и в зависимости от высотного пояса преобладает тот или иной источник питания.

Изучение источников питания рек на примере Средней Азии нашло широкое освещение в работах В.Л.Шульца, О.П.Щегловой. В последующем исследования источников питания проводились для других горных районов К.П.Воскресенским, А.Н.Важновым, С.Г.Рустамовым, А.Т.Ильясовым, А.Я.Рыбкиным, Л.А.Владимировым, П.Ф.Лаврентьевым и И.С.Соседовым, Р.М.Кашкай (1973), С.Г.Рустамовым, Р.М.Кашкай и др.

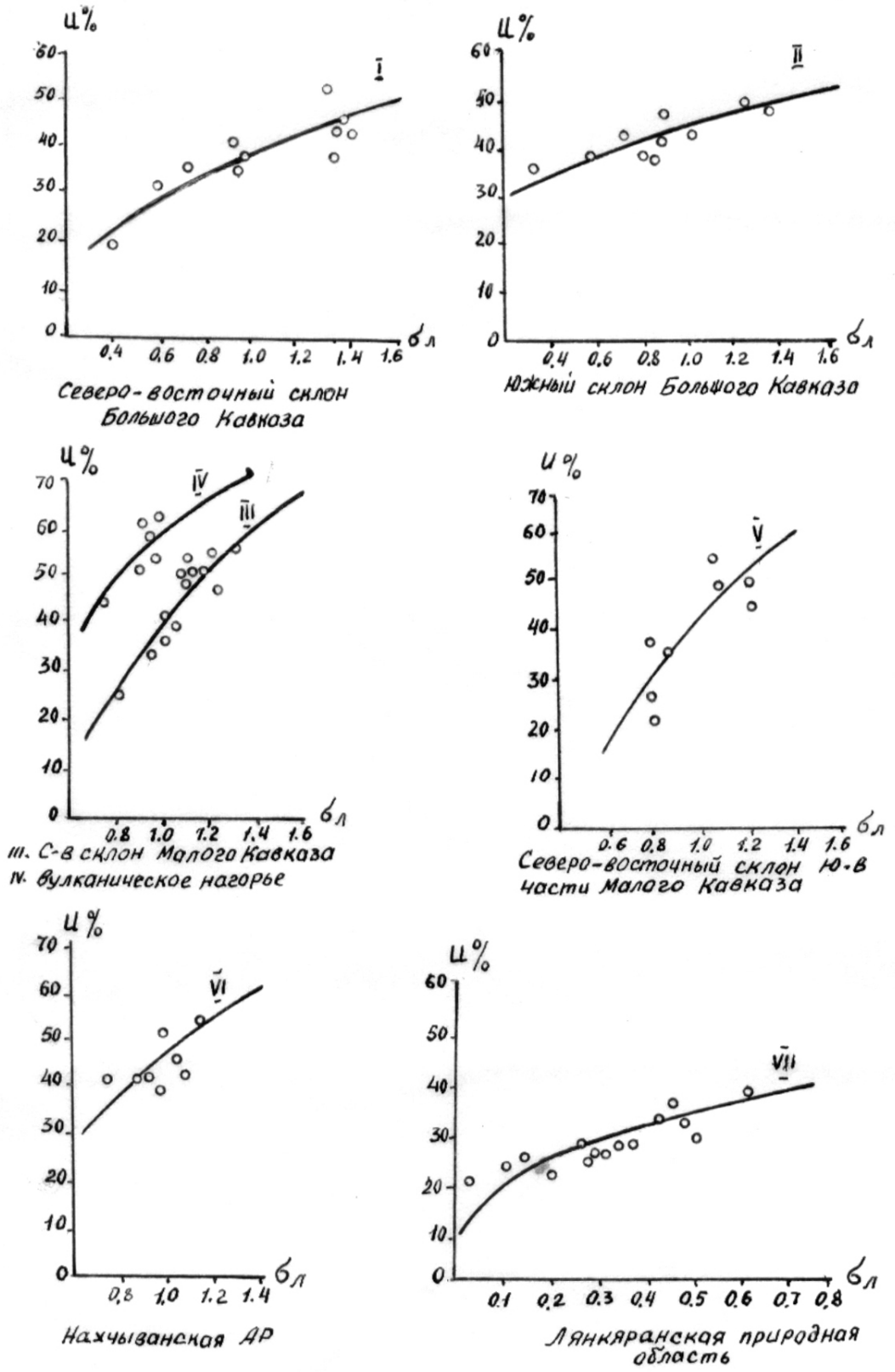


Рис. 1. Зависимость подземного питания рек от коэффициента летней естественной зарегулировонности стока (VII-VIII)

Во всех этих исследованиях применялся метод вертикального расчленения гидрографа. Этот метод и в настоящее время является пока самым приемлемым для определения генетических составляющих речного стока. Однако он не избавлен от ошибок, связанных с субъективизмом в проведении границ между поверхностными и подземными водами.

Влияние процесса подземного питания на формирование стока неразрывно связано с характером и условиями взаимосвязи поверхностных и подземных вод. Закономерности этих процессов определяются условиями залегания и питания водоносного пласта, положением мест разгрузки по отношению к урезу русла, а также уровнем воды в реке.

Опыт работ по Кавказу показывает, что здесь водоносные горизонты гидравлически не связаны с рекой, и решающее значение здесь приобретают данные по родниковому стоку, которые являются основой правильного расчленения гидрографа. В результате глубокого эрозионного вреза (1500-1800 м) речные русла Кавказа дренируют основную массу подземных вод. Для них характерно нисходящее движение и значительная изменчивость в питании.

Как показали результаты наших исследований, в изменении подземного стока с высотой господствует вертикальная поясность, характеризующаяся увеличением подземного стока с высотой до определенного предела.

В последнее время в связи с широким применением в практике исследований комплексного гидролого-гидрогеолического метода оценки подземного стока появилась необходимость его картирования как в региональном плане, так и для отдельных речных бассейнов или участков территории.

Полученные зависимости (13 зависимостей) подземного стока от высоты водосбора позволили нам впервые построить карту подземного стока в реки Азербайджана в мм слоя (рис.2). Указанная карта может представлять определенный интерес для практики при составлении общего водного баланса территории и позволит определять величины подземного стока в реки отдельных неизученных рек.

Применение метода генетического расчленения гидрографов для определения подземного стока в реки возможно при наличии систематических наблюдений над речным стоком. При отсутствии этих данных неизбежно приходится отыскивать косвенные методы определения подземного стока в реки. Наиболее обоснованным методом является установление зависимости подземного стока от полного речного стока, т.к. изменение полного речного стока по территории и по высотным поясам находится в прямой зависимости от источников его питания. Этот метод аналогичен методу определения полного речного стока по зависимостям от осадков, применяемому при отсутствии наблюдений над стоком в высокогорных районах. Однако определение полного речного стока по осадкам по сравнению с определением подземного стока по полному речному стоку чревато большими ошибками, связанными с точностью измерения осадков. Поэтому при отсутствии гидрометрических наблюдений на реках с аналогичными природными условиями можно опираться на зависимости подземного стока от полного как на расчетные. Это позволило нам впервые выявить 4 зависимости между подземным и полным речным стоком, каждая из которых охватывает определенную природную область Азербайджана (рис.3).

На характер прохождения стока рек, на их водность в различные времена года влияют процессы циркуляции, происходящие в атмосфере над данной территорией. Выпадение твердых осадков в зимние месяцы обуславливает на реках весенние паводки снегового происхождения. Осенью начинается второй максимум, обусловленный выпадением осенних дождей. Поэтому для полного понимания природы поверхностного стока как с практической, так и с теоретической точки зрения разделение его на генетические составляющие (дождевой, снеговой) представляет определенный интерес, так как в регулировании стока рек знание доли участия каждого из этих генетических составляющих имеет большое значение.

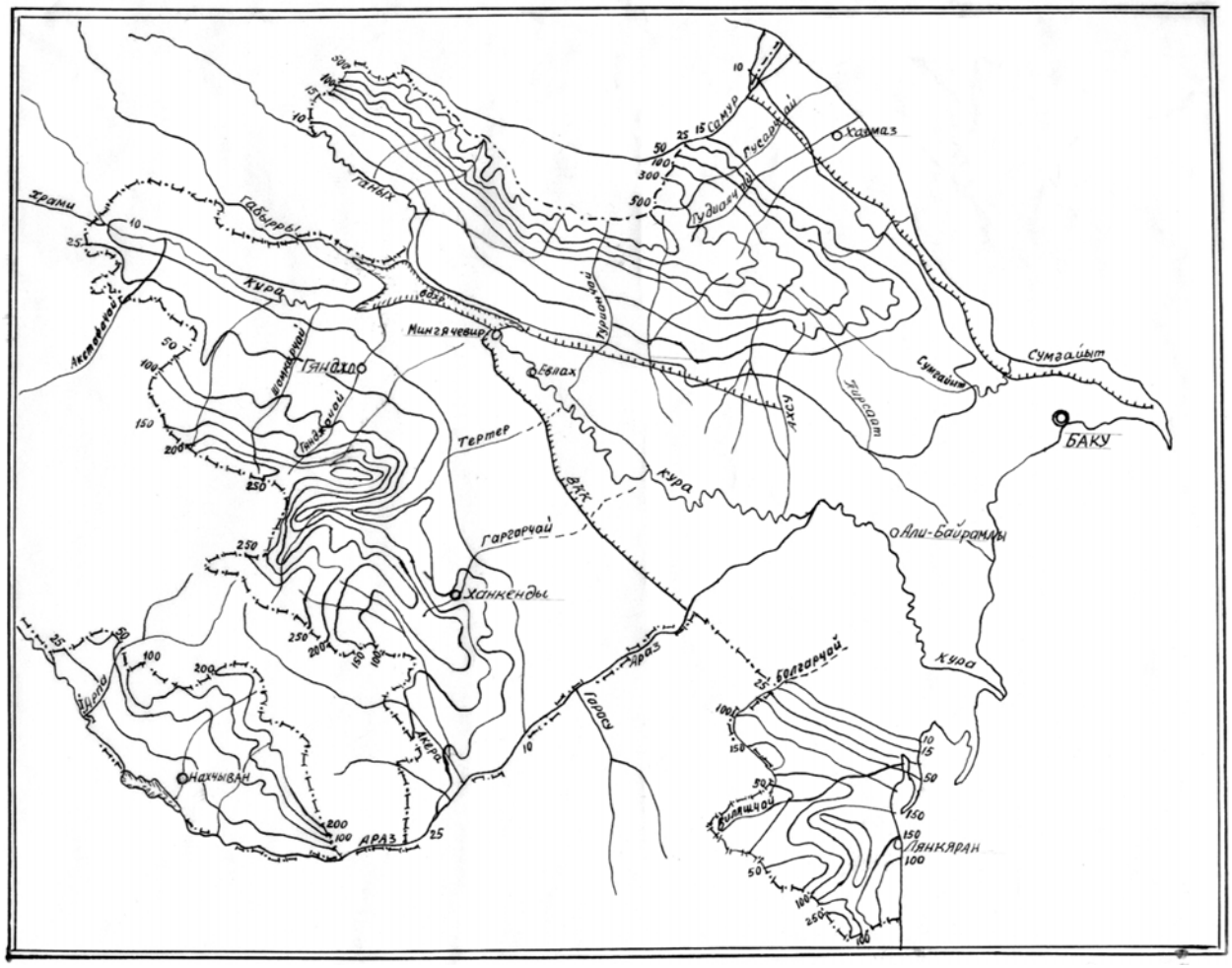


Рис. 2. Годовой подземный сток в реки Азербайджана, в мм.

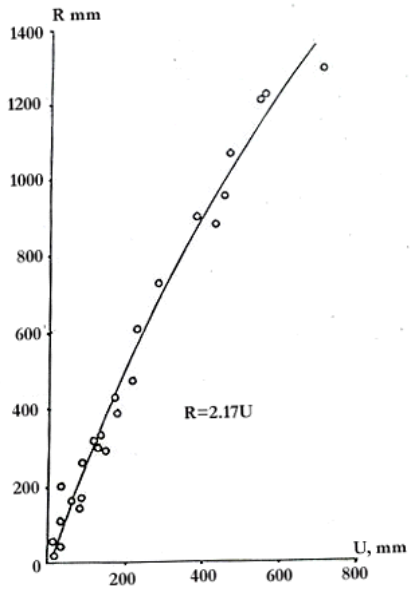


Рис. 3. Взаимосвязь полного речного стока с питанием рек подземными водами (Б.Кавказ)

Питание рек за счет снеговых вод в разных районах Азербайджана происходит различно. На реках с высокими водосборами снеговое питание составляет 20-40% для южного склона и 20-45% − для северо-восточного склона Большого Кавказа. Для низких водосборов доля снеговой составляющей в редких случаях доходит до 25%. На Малом Кавказе питание рек за счет снеговых вод на высоких водосборах для правобережных притоков р.Куры составляет 25-40% и для левобережных притоков р.Араз – 30-50% годового стока.

Анализ материалов дождевого стока показывает, что для рек с высокими водосборами его доля составляет 10-25% для Малого Кавказа и 10-30% − для Большого Кавказа.

Наглядной характеристикой обеспеченности водой всего бассейна по месяцам и сезонам являются особенностм распределения стока внутри года. Внутригодовое распреде-

ление стока рек Азербайджана отличается большим разнообразием. Прохождение на реках весеннего, весенне-летнего половодья, весенних, осенних и зимне-весенних дождевых паводков, пересыхание рек с низкими водосборами определяют характер внутригодового распределения стока. Распределение стока не остается постоянным и в зависимости от водности года зачастую из года в год резко меняется. Изучение внутригодового распределения стока имеет определяющее значение при использовании реки для различных народнохозяйственных целей. При создании водохранилищ и других гидротехнических сооружений и установлении режима их работы необходимо знать сток реки в периоды прохождения половодий и паводков, летней и зимней межени за различные по водности годы, продолжительность отдельных фаз водного режима и другие характеристики внутригодового распределения стока.

Выделение гидрологических сезонов для горных рек представляет определенную сложность, вызванную характером изменения всех природных факторов в соответствии с высотным положением бассейнов. Обычно при выделении сезонов учитываются определенные признаки водного режима, в свою очередь обусловленные характером питания рек. Естественно, что эти сезоны (фазы водного режима) в зависимости от термического режима и запаса влаги в бассейне наступают разновременно в различных высотных зонах (Рустамов, Кашкай, 1978).

Для сопоставимости результатов расчета нами приняты следующие гидрологические сезоны:

1.Нелимитирующий период (весеннее половодье) – III-IV;
2.Лимитирующий период – VII-II;
3.Летний лимитирующий сезон (летняя межень) – VII-VIII;
4.Осенние паводки (частично лимитирующий период) – IX-XI
5.Зимний лимитирующий сезон (частично лимитирующий период)- XII-II.

Вследствие специфического характера водного режима для рек Лянкяранской природной области характерны следующие сезоны:

1.Нелимитирующий период – IX-V

а) осенние паводки – İX-Xİ

б) зима (по расходам воды выше летнего периода) XII-II

в) весенние паводки – III-V;

2.Лимитирующий период - VI-VIII и XII-II

а)летняя межень - VI-VIII;

б)зимняя межень - XII-II (для северной части Лянкяранской природной области);

3.Лимитирующий сезон (летняя межень) – VII-VIII.

Как видно, выделенные сезоны имеют неодинаковую продолжительность. Поэтому сравнение распределения стока по этим сезонам является показательным лишь для водохозяйственных расчетов. Наиболее наглядное представление о внутригодовом распределении стока можно получить по месячному их распределению и по календарным сезонам года (весна-лето-осень-зима). В изменении стока по календарным сезонам года для рек со средней высотой водосборов установлено четыре вида взаимосвязи: В<Л>0>3; В>Л>0> 3; В>Л<0>3; В>Л<0< 3.

Одним из основных вопросов, возникающих при проектировании водохозяйственных объектов, является оценка характера и возможных пределов колебаний водоности рек во времени. С этими же вопросами тесно связаны расчеты по определению эффективности работы того или иного водохозяйственного объекта в период его эксплуатации.

Нашими исследованиями установлено, что цикличность в колебаниях стока наиболее отчетливо прослеживается при применении метода вычисления коэффициента относительной водности. Наиболее приемлемым, на наш взгляд, является метод вычисления относительной водности, предложенный. Давыдовым (1947). Относительную водность реки Л.К.Давыдов предлагает определять по формуле:

$$К_б = \frac{Qi - Q\min}{AQ}$$

где: Q_i – средний расход данного года;

Q_{min} –минимальный средний годовой расход за период наблюдений;

$AQ=Q_{макс} – Q_{мин}$, т.е. амплитуда средних годовых расходов за период наблюдений;

$Q_{макс}$ – максимальный средний годовой расход за период наблюдений.

Этот коэффициент показывает, какую часть амплитуды средних годовых расходов составляет в данном году превышение расхода этого года над наименьшим средним годовым расходом.

При $Q_i = Q_{мин}$, $К_в = 0$, а при $Q_i > Q_{min}$ $К_в = 1{,}00$.

Сравнение хронологических графиков хода осадков и стока наглядно указывает на значение климатических факторов в колебаниях стока. Как показывают графики (рис. 4), между осадками и стоком отмечается полная синхронность в колебаниях. Исключение составляют некоторые годы, когда понижению осадков соответствует повышение стока. Использование при этом данных многолетнего температурного режима и влажности воздуха показывает, что причиной тому является высокая среднегодовая температура, способствующая таянию снежников, задержавшихся в высокогорьях с предыдущего года, и увеличению речного стока. Это можно объяснить и переброской стока из одного бассейна в другой.

Настоящее исследование дает основание ещё раз подтвердить вывод о том, что многолетние колебания стока горных рек являются, в основном итогом колебания осадков, температуры и влажности воздуха, т.е. зависят от влагонакопления на речных бассейнах и его изменения во времени.

Развитие орошаемого земледелия, промышленности, рост населения, освоение новых территорий и связанное с этим всерастущее водопотребление оказывает существенное влияние на гидрологический режим рек и на состояние водных ресурсов. В настоящее время в Азербайджане не найдется ни одной реки, естественный режим которой не был бы нарушен деятельностью человека.

Состояние и перспективное использование водных ресурсов нашли свое отражение в ряде наших работ и работ других авторов, и поэтому они здесь не повторяются. Однако приходится отметить, что точный учет использования воды до сего времени сооветствующими органами водного хозяйства не налажен и существующая сеть водомерных постов не везде в состоянии учитывать изменение гидрологического режима и стока по длине рек, так как вследствие хозяйственной деятельности человека эта естественная закономерность нарушена.

Для восстановления естественного стока нами были использованы имеющиеся отрывочные сведения о водозаборах из рек, приведенные в водном кадастре, более подробные проработки Бакинского отделения Гидропроекта, а также материалы экспедиционных исследований автора.

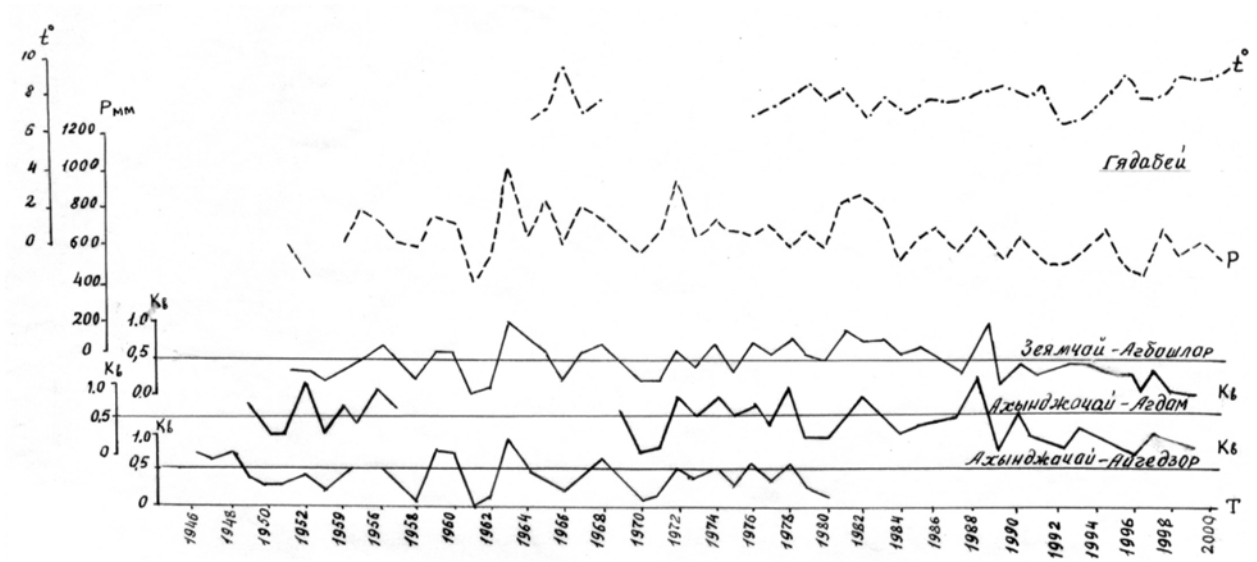


Рис. 4. Совмещенный график колебания водности рек ($К_в$) (-), влажности воздуха (Р) (---) и температуры воздуха (T^0)(.- .)

Наибольшее влияние хозяйственной деятельности человека проявляется в нижнем течении р.Куры. Мингячевирское водохранилище после ввода его в эксплуатацию в 1953 г. в корне изменило гидрологический режим р.Куры в её нижнем течении и создало новый, резко отличающийся по режиму от среднего и верхнего течения, режим.

Хозяйственная деятельность человека, выражающаяся в отъемах воды из рек в больших количествах, хотя и не уменьшила общих водных ресурсов республики, однако сильно изменила их естественный режим, особенно это касается малых рек. На некоторых реках нет даже экологического стока. А это сильно влияет на экологическую обстановку того или иного бассейна, проявляющуюся в опустынивании предгорных территорий.

В конце XX века суммарное водопотребление в Азербайджане достигало 14 км^3 при местном стоке в 10,3 км^3, уже в XXI веке в зависимости от уровня развития оно составит 20 км^3. Говоря иными словами, недостаток воды достигнет 10 км^3 в год. Поэтому проблема поиска новых источников водообеспечения и рационального использования водных ресурсов в Азербайджане приобретает первостепенное значение. В этих условиях наиболее перспективным является переброска вод из Ганых-Айричайской долины на восток с целью обеспечения питьевой водой г.Баку и Сумгайыт; проведение дополнительного водопровода из Шолларских источников. Для улучшения водообеспечения в целях орошения,значительную роль сыграют реконструкции Самур-Апшеронского канала, а также каналов как на Большом, так и на Малом Кавказе. С точки зрения обводнения территории и водообеспечения животноводства большое значение приобретет переброска воды из каскада водохранилищ на р.Куре в Джейранчель.

Учитывая современные экономические отношения и необходимость знания имеющихся для использования водных ресурсов, нами приводится балансовая характеристика водных ресурсов административных районов Азербайджана. Наиболее водообеспечены и наиболее благоприятными структурами водного баланса характеризуются районы, расположенные в лесном или луговом поясах.

Наиболее ценными с точки зрения питьевого водоснабжения засушливых районов являются подземные воды, подводимые к этим районам в закрытом виде. Эти воды не нуждаются в очистке и не будут засолять почвы, как это происходит с оросительными каналами. Намеченное в перспективе водохозяйственное строительство, в частности реконструкция и переустройство оросительных систем, создаст условия для повышения коэффициентов их полезного действия и наиболее эффективного использования имеющихся водных ресурсов. Должное место должно занять строительство субартезианских скважин для добычи подземных вод.

Наступило время углубленного изучения потенциальных возможностей малой гидроэнергетики в нашей республике и определения последовательности её развития на базе горных рек, перепадов и быстротоков крупных ирригационных каналов и водохранилищ.

Учитывая дальнейшее развитие хозяйства, создание на каспийском побережье курортной зоны международного значения, потребность в воде будет все более возрастать. Здесь можно будет использовать воды рек Гусарчай, Вельвеличай и Кудиалчай путем строительства на них водохранилищ.

Обводнение северной части Лянкяранской природной области согласно разработкам Гидропроекта, выполненным в 1980-ые годы, возможно путем превращения Гызылагачского залива в Каспийском море в водохранилище.

Предлагаемые выше мероприятия на данном этапе трудно выполнимы, нуждаются в дальнейшем уточнении и зависят от инвестиционных вложений.

Помимо этих мероприятий, после соответствующих исследований также целесообразно осуществить следующие водохозяйственные мероприятия по переброске и перераспределению стока:

- После создания Худаферинского водохранилища на р.Араз с помощью насосных станций поднять воду на прилегающие к водохранилищу земли Физулинского и Зангеланского районов (Джейрандюзи, Языдюзи и Давадюзи);

- Озеро Агчала превратить в полноценное водохранилище за счет переброски воды

р,Куры с использованием протока Акуша. Далее из вновь образованного водохранилища осуществить переброску стока в русло протоки, а оттуда на земли Бейлаганского и Джалилабадского районов и частично в Гызылагачское водохранилище. В целях борьбы с заболачиванием прилегающей территории все остаточные воды от орошения и дренажной сети можно также собрать в протоку;

- Западнее р.Гиланчай в Ордубадском районе Нахчывана аккумулировать воды рек Дюглюн, Вананд, Айлис и Ордубадчай в одно водохранилище и подать его воды на орошение земель равнинной части этой территории. Годовой объем стока этих четыре рек составляет около 60 млн. м^3. Полный объём предполагаемого водохранилища можно довести до 25-30 млн.м^3;

- Для дополнительного обводнения прилегающей к р.Сумгайытчай части территории Гобустана и орошения пойменных и надпойменных земель следует ниже устья притока Кенда регулировать сток реки водохранилищем. Годовой объём стока р. Сумгайытчай составляет 63 млн.м^3. В рекомендуемом водохранилище можно аккумулировать до 30 млн.м^3 воды. На прилегающую к водохранилищу территорию Гобустана воду можно поднять насосными установками.

ЛИТЕРАТУРА

ДАВЫДОВ, А.К. 1947. Водоносность рек СССР, ее колебания и влияние на нее физико-географических факторов. Гидрометиздат. Ленинград.

КАШКАЙ, Р.М. 1975. Внутригодовое распределение подземного стока рек Азербайджанской ССР. *Изв. АН Азерб ССР, сер. геогр. наук*, 3.

КАШКАЙ, Р.М. 1991. Высотные закономерности подземного стока в реки и вопросы его рационального использования. Материалы I Закавказской геогр. Конфер. Ереван.

КАШКАЙ, Р.М. 2006. Естественная зарегулированность стока горных рек Азербайджана. *Тр. Аз НИИ Водных проблем*, 1.

РУСТАМОВ, С.Г., КАШКАЙ, Р.М. 1978.Водный баланс Азербайджанской ССР. Элм. Баку.

РУСТАМОВ, С.Г., КАШКАЙ, Р.М. 1989. Водные ресурсы Азербайджанской ССР. Элм. Баку.

ШУЛЬЦ, В.Л. 1965.Реки Средней Азии. Гидрометиздат. Ленинград.

© N.H.Əyyubov, 2008

AZƏRBAYCANDA ƏHALİ MƏSKUNLAŞMASININ TƏKMİLLƏŞDİRİLMƏSİNİN İQTİSADİ-COĞRAFİ İSTİQAMƏTLƏRİ

N.H.Əyyubov

Azərbaycan MEA akad. H.Ə.Əliyev adına Coğrafiya İnstitutu
AZ1143, Bakı, H.Cavid prosp., 31

Məqalədə Azərbaycan Respublikasında əhalinin məskunlaşması xüsusiyyətləri təhlil olunur, iqtisadi-coğrafi rayonlar üzrə əhali–ərazi nisbətləri əsas götürülərək ərazinin mənimsənilmə, məskunlaşma səviyyələri araşdırılır. Ümumiyyətlə, ölkədə əhalinin daha səmərəli məskunlaşdırılması əsaslandırılır və konkret olaraq ayrı-ayrı iqtisadi-coğrafi rayonların spesifik xüsusiyyətlərinə uyğun bu prosesin təkmilləşdirilməsi istiqamətləri müəyyənləşdirilir.

İstehsalın səmərəli ərazi təşkili, ictimai-iqtisadi formasiyadan asılı olmayaraq, hər hansı bir ölkədə iqtisadi və sosial inkişafın, xalqın maddi rifah halının yaxşılaşdırılmasının mühüm şərtlərindən biridir. Məhsuldar qüvvələrin ölkə ərazisində səmərəli yerləşdirilməsi sosial-iqtisadi inkişafla yanaşı, həm də mühüm strateji hərbi-siyasi əhəmiyyət kəsb edir. Ona görə də bütün sivil ölkələr istehsalın səmərəli ərazi təşkilinə böyük diqqət yetirir, bu prosesi ümumi dövlət nəzarəti altında saxlayır, onun idarə olunması üçün tədbirlər kompleksi görürlər.

Keçmiş SSRİ məkanında da planlı sosialist təsərrüfatçılığı şəraitində, əhalinin səmərəli ərazi təşkili məsələlərinə ümumi dövlət səviyyəsində diqqət yetirilirdi. Elmi-nəzəri müddəaları Moskva və Leninqrad alimləri tərəfindən işlənən konsepsiyalar əsasında istehsalın ölkə ərazisində yerləşdirilməsini təkmilləşdirməklə əhalinin də səmərəli ərazi təşkili, məskunlaşdırılması müəyyən dərəcədə idarə olunurdu. Vahid məskunlaşma sistemi nəzəriyyəsi kontekstində əhalinin İttifaq və onun hissələri olan müttəfiq respublikalar ərazisində yerləşməsinin optimallaşdırılmasına çalışılırdı. Lakin planlı təsərrüfat sisteminin dağılması, keçid dövrünün çətinlikləri bu həyati əhəmiyyət kəsb edən vacib məsələnin əhəmiyyətli dərəcədə unudulmasına, demək olar ki, kortəbii inkişafına səbəb oldu.

Qeyd etmək lazımdır ki, hətta inkişaf etmiş kapitalist ölkələrində belə əhalinin və istehsalın ərazidə yerləşməsinin ölkənin ümumi strateji mənafeyinə müvafiq təkmilləşdirilməsi aspektində dövlət səviyyəsində əməli tədbirlər görülür. Məsələn, ABŞ mərkəzinin, İtaliya cənubunun, Türkiyə şərqinin daha sürətli sosial-iqtisadi inkişaf etdirilməsi siyasəti yürüdür, həmin ərazilərdə yeni təsərrüfat sahələrinin inkişafını maliyyələşdirir, əhalinin bu ərazilərdə daha intensiv məskunlaşması üçün sosial, inzibati və iqtisadi tədbirlər kompleksi həyata keçirirlər.

Qarabağ münaqişəsinin başlanması, Ermənistanın Azərbaycan torpaqlarının 20%-dən çoxunu işğal etməsi, Qərbi Azərbaycandan – indiki Ermənistandan yerli azəri türklərinin deportasiya olunması və işğal olunmuş ərazilərdən 1 milyondan çox qaçqın ordusunun yaranması, Mərkəzi Asiyadan qovulan 50 mindən artıq məhsəti türklərinin də respublikaya pənah gətirməsi, SSRİ-nin dağılması ilə əlaqədar yaranan çətinliklər və s. ölkəni iqtisadi böhrana düçar etməklə istehsalın ərazi təşkili prosesini daha da mürəkkəbləşdirmiş, əhalinin yerləşməsində, məskunlaşmasında neqativ meyillərə səbəb olmuşdur.

Bu hadisələr iqtisadi və sosial inkişafın əsasını təşkil edən demoqrafik prosesin də kəskin dəyişilməsinə səbəb olmuşdur. Ən qısa müddət ərzində doğum göstəricisinin kəskin azalması, ölüm əmsalının isə, demək olar ki, dəyişməz qalması nəticəsində təbii artım da xeyli azalmışdır. Məsələn, 1990-cı ildə hər 1000 nəfərə doğum 26,3, ölüm 6,1, təbii artım 20,2 olmuşsa, 2004-cü ildə bu rəqəmlər 16,1, 6,1 və 10,0 nəfər təşkil etmişdir. Təhlil olunan dövrdə xarici ölkələrlə mexaniki hərəkət balansı mənfi olmuşdur.

Məhsuldar qüvvələrin yerləşməsindəki qeyri səmərəlilik daha da artmışdır. Dağlıqla düzən, ölkənin digər regionları ilə Abşeron arasındakı fərqlər ikincinin xeyrinə daha da dərinləşmişdir. Əgər 90-cı illərə qədər kənd yerlərinin, xüsusən də dağlıq rayonların kiçik və orta şəhərlərinin nisbətən sürətlə sosial-iqtisadi inkişaf etdirilməsi siyasəti hesabına əhalinin əsas məskunlaşma arealları arasındakı fərqlər azal-

mağa meyill edirdisə, mürəkkəbləşən ictimai-siyasi ab-havanın fonunda bu məsələlər, demək olar ki, kortəbii xarakter almış, idarəolunmaz hala gəlmişdir. Ölkənin əhali və sənaye potensialının əhəmiyyətli payı cəmlənmiş Abşeron iqtisadi rayonunda demoqrafik təzyiq daha da artmış, burada istehsalın xüsusi çəkisi nəinki azalmış, ümumi ölkə üzrə məhsul istehsalının azalması fonunda onun payı daha da artmış və artmaqda davam etməkdədir. Ona görə də Azərbaycan Respublikasının strateji, geosiyasi, iqtisadi-coğrafi və hərbi-siyasi mənafeyinə uyğun məskunlaşma siyasəti həyata keçirilməlidir. Regionların sosial-iqtisadi inkişaf tempi və istiqamətləri əhalinin yerləşməsinin və məskunlaşdırılmasının təkmilləşdirilməsinə səbəb olmaqla yuxarıda adı çəkilən strateji mənafelərə uyğun həyata keçirilməlidir. Digər tərəfdən, yaddan çıxarmaq olmaz ki, zaman-zaman o qədər torpaqlar itirilmişdir ki, artıq Azərbaycan Respublikası aztorpaqlı, əhalisi ifrat məskunlaşmış ölkəyə çevrilmişdir. Hazırda (2005-ci il) hər 1 kv.km-ə düşən əhalinin sayı 96 nəfərdir, hər nəfərə 0,57 ha kənd təsərrüfatına yararlı torpaq, 0,21 hektar əkin sahəsi düşür. Bu rəqəmlər isə müvafiq orta dünya göstəricilərindən çox aşağıdır. Məsələn, dünyada hər nəfərə 0,24, ABŞ-da isə 0,8 ha əkin sahəsi düşür. İşğal olunmuş rayonların təsərrüfat dövriyyəsindən çıxmasını, təcavüzkar Ermənistanla həmsərhəd olan bölgələrdə də təsərrüfat fəaliyyəti ilə tam məşğul oluna blinməməsi, torpaqların şoranlaşması, bataqlıqlaşma və eroziyanın vurduğu ziyanları da nəzərə alsaq, vəziyyətin nə dərəcədə gərgin olduğu aydın görünər. Bununla yanaşı, yeni quruculuq işləri ilə əlaqədar, mütəmadi olaraq əhəmiyyətli miqdarada qiymətli, məhsuldar torpaq sahələri kənd təsərrüfatı dövrüyyəsindən çıxır, tikinti və yollar altına verilir. Ona görə səmərəli regional məskunlaşma siyasəti həyata keçirməklə yanaşı, bütün inzibati bölgü səviyyələrində daxili ərazi potensialından da maksimum səmərəli istifadə edilməlidir. Yeni tikintilər, yollar məhsuldarlığı, münbitliyi yüksək olan torpaqları mümkün qədər əhatə etməməlidir. Yaşayış məntəqələri daxilində olan müxtəlif təyinatlı anbarlar, qarajlar və s. kimi insanların uzun müddətə qalması nəzərdə tutulmayan təsərrüfat və sosial infrastruktur obyektləri yer altında yerləşdirmək məqsədəuyğundur. Onların tikintisi əlavə vəsait tələb etsə də, torpağa qənaət etmək baxımından bunu həyata keçirmək lazımdır. Relyef şəraiti təpəli, meyilli olan yaşayış məntəqələrində belə təyinatlı tikintilərin aparılması daha asandır və iqtisadi cəhətdən düzən relyefə malik olan məntəqələrdən daha ucuz başa gələr. Bu baxımdan Bakı şəhəri və Abşeronun əksər yaşayış məntəqələri böyük imkanlara malikdir. Həm də əhalinin ifrat dərəcədə cəmləndiyi və cəmlənməkdə davam etdiyi, torpağın qiymətinin günbəgün artdığı paytaxt regionunda amfiteatr relyef forması ilə əlaqədar yeraltı tikintilərin genişləndirilməsi zəruridir və nisbətən ucuz başa gələndir. Çox təəssüf ki, neft-qaz sənayesinin güclü inkişafı və onunla bağlı olan xarici sərmayələrin əsasən bu regiyona qoyuluşu tikinti-quruculuq işlərinin, xüsusən də yaşayış massivlərinin genişləndirilməsi ilə müşayiət olunsa da, nəinki yuxarıda adı çəkilən yeraltı tikililərin aparılması ilə getmir, həm də xaotik aparılır, Bakının paytaxt statusuna uyğun inkişafına və estetik görkəminə xələl gətirir. Bir sıra sosial infrastruktur obyektlərin fəaliyyətini çətinləşdirir, müxtəlif xidmətlərin təşkilini əhəmiyyətli dərəcədə əngəlləyir. Binaların torpaqdan maksimum faydalanmaq məqsədi ilə sıx və xaotik yerləşdirilməsi atmosfer sirkulyasiyasını da pozur, əhalinin sağlamlığı üçün ciddi təhlükə yaradır və s. Binalar tikilərkən Abşeron üçün üstünlük təşkil edən xəzri və gilavar küləklərinin sirkulyasiyasına şəraitin saxlanması nəzərə alınmalı, bir bina digərininin kölgəsində qalmamalı, relyef şəraitinə uyğun dənizə və ya ətrafa görünüş bağlanmamalıdır. Yeni tikinti və yaşayış massivlərinin salınması, əhalinin asudə vaxtını yaxşı keçirmək, sosial tələbatların tam, harmonik ödənilməsi (məktəb, uşaq bağçaları, kiçik istirahət guşələri və s.) üçün infrastrukturların və yaşıllıq-sanitariya zonalarının mütləq yaradılması ilə müşayiət olunmalıdır. Təbii meşə-kol landşaftı olmayan Bakı aqlomerasiyası üçün yaşıllıqların – parkların azaldılması nəinki yolverilməzdir, ən azı əhalinin sağlamlığına ciddi təhlükə yaradan böyük cinayətdir. Məsələn, Bakının mərkəzində yerləşmiş keçmiş «Pioner», indiki «Sevil» parklarının ağaclarının qırılaraq yaşayış binaları və səfirliklərin inzibati binalarının tikilməsi düzgün deyildir. Halbuki bu ətraflarda və şəhərin başqa mərkəz hissələrində («Sovetski», «Xutor», «Alatava», «Kubinka» və s.) köhnə, uçuq-salxaq evlərdən ibarət böyük sahə tutan yaşayış massivləri mövcuddur. Onların yerində şəhərin baş planına uyğun yeni tikintilərin aparılması daha məqsədəuyğundur.

Ümumiyyətlə, Azərbaycan Respublikasında əhalinin təbii və iqtisadi-coğrafi rayonları

üzrə yerləşməsi və məskunlaşması xüsusiyyətləri, ərazi-əhali nisbətlərinin təhlili, əhalinin daha səmərəli məskunlaşdırılması istiqamətlərinin müəyyənləşdirilməsi baxımından böyük əhəmiyyət kəsb edir.

Aşağıdakı cədvəldən göründüyü kimi, respublika əhalisinin əhəmiyyətli hissəsi **Böyük Qafqaz təbii vilayətində** cəmlənmişdir. Bu təbii vilayətin payına ölkə ərazisinin 31,6%-i düşdüyü halda, ümumi əhalinin 42,3% -i düşür. Burada 3529,4 min nəfər əhali yaşayır, bu əhali 17 şəhər, 109 qəsəbə və 1111 kənd yaşayış məntəqəsində məskunlaşmışdır. Əhalinin hər 1 kv.km-dəki, sıxlığı 129 nəfərdir, bu da müvafiq orta respublika səviyyəsindən 33 nəfər çoxdur. Lakin əhalinin daha sıx cəmləndiyi və cəmlənməkdə davam etdiyi Abşeron iqtisadi rayonudur. Burada ölkə əhalisinin 27%-i, Böyük Qafqaz təbii vilayətinin isə 63,8% əhalisi cəmlənmişdir. Əhalinin orta sıxlığı 416 nəfər olub, orta ölkə səviyyəsindən 4,3 dəfə çoxdur. Ona görə də bu iqtisadi rayonda əhalinin cəmlənməsi məhdudlaşdırılmalı, daxili ərazi potensialından maksimum səmərəli istifadə edilməli, ekoloji mühitin yaxşılaşdırılması işləri görülməldir. Yuxarıda bu haqda xeyli məlumat verilmişdir.

Bu təbii vilayət daxilində nisbətən ərazi potensialı yaxşı olan, əhalinin yerləşdirilməsi və məskunlaşdırılması üçün imkanın geniş olduğu **Dağlıq Şirvan iqtisadi rayonudur.** Bu iqtisadi rayonun payına ölkə ərazisinin 7,0%-i düşdüyü halda, əhalisinin 3,2%-i düşür. Əhalinin orta sıxlığı 44 nəfər olub, müvafiq orta ölkə səviyyəsindən 2,2 dəfə azdır. Əhali 3 şəhər, 8 qəsəbə, 272 kənddə məskunlaşmışdır. Bu iqtisadi rayonda əhalinin məskunlaşdırılması, hər şeydən əvvəl yerli, təbii artımın iqtisadi və sosial yönümlü tədbirlər hesabına yerlərdə saxlanılmasına nail olunmasıüçün dağlıq relyef və nisbətən çətin həyat şəraiti ilə əlaqədar buranın sakinlərinə müəyyən güzəştlərin tətbiq edilməsi vacibdir. Yanacaq-enerji təminatının davamlı və güzəştlərlə verilməsi, suvarma suyu ilə təchizatın yaxşılaşdırılması, yanar şist ehtiyatlarının istehsal dövriyyəsinə cəlb edilməsi, əməktutmlu emaledici sənaye sahələrinin yaradılması və s. yerli demoqrafik potensialın yerlərdə saxlanılmasına əsaslı kömək edə bilər. Məsələn, bu rayon əsasən dəmyə əkinçiliyi rayonu olsa da, əhali və kənd təsərrüfatının su təminatında çətinlik 62%, 25% isə pis vəziyyət kimi qiymətləndirilir.

Azərbaycanda ərazi üzrə əhalinin paylanması və məskunlaşması (01.01.2005)

Təbii və iqtisadi-coğrafi rayonlar	Ərazisi, min kv.km	Xüsusi çəkisi, %-lə	Əhalisi, min nəfər	Xüsusi çəkisi, %-lə	Əhalinin sıxlığı (1 kv. km-ə düşür)	Yaşayış məntəqələri		
						Şəhər	Qəsəbə	Kənd
I Böyük Qafqaz	27,4	31,6	3529,4	42,3	129	17	109	1111
1. Quba-Xaçmaz	6,96	8,0	465,6	5,6	67	6	18	474
2. Abşeron	5,42	6,3	2253,3	27,0	416	2	78	31
3. Dağlıq Şirvan	6,06	7,0	266,4	3,2	44	3	8	272
4. Şəki-Zaqatala	8,96	10,3	544,1	6,5	61	6	5	334
II Kiçik Qafqaz	26,12	30,2	1953,8	23,4	74,8	24	52	1479
5. Gəncə-Qazax	12,48	14,4	1124,0	13,5	91	11	33	524
6. Yuxarı Qarabağ	7,24	8,4	617,3	7,4	85	9	13	519
7. Kəlbəcər-Laçın	6,4	7,4	212,5	2,5	33	4	6	436
III Aran	21,43	24,8	1711,5	20,5	80	18	39	792
8. Aran	21,43	24,8	1711,5	20,5	80	18	39	792
IV Lənkəran	6,07	7,0	779,7	9,3	128	6	11	637
9. Lənkəran-Astara	6,07	7,0	779,7	9,3	128	6	11	637
V Naxçıvan MR	5,5	6,4	372,9	4,5	68	4	4	208
10. Naxçıvan	5,5	6,4	372,9	4,5	68	4	4	208
Azərbaycan Respublikası	86,6	100	8347,3	100	96	69	215	4227

Cədvəlin tərtibində istifadə edilmiş ədəbiyyat: Azərbaycan Respublikası əhalisinin siyahıyaalınması. 1999-cu il. I hissə. 2000. Bakı, Azərbaycanın əhalisi (statistik bülleten) 2005. Bakı.

Böyük Qafqaz təbii vilayətində əhalinin yerləşməsi və məskunlaşması baxımından ərazi potensialı nisbətən yaxşı olan üçüncü bölgə **Quba-Xaçmaz iqtisadi rayonudur**. Bu rayonun payına ümumi ölkə ərazisinin 8,0%-i düşdüyü halda, əhalisinin 5,6%-i düşür. Əhalinin orta sıxlığı orta respublika səviyyəsindən 29 nəfər az olub, 67 nəfər təşkil edir. Çox əlverişli iqtisadi-coğrafi mövqeyə, təbii-coğrafi şəraitə malik olan bu iqtisadi rayonda 465,6 min nəfər əhali yaşayır. Burada əhali 6 şəhər, 18 qəsəbə, 474 kənddə məskunlaşmışdır. Mövcud və artan demoqrafik potensialın sosial-iqtisadi şəraitin yaxşılaşdırılması hesabına yerlərdə saxlanılması əhalinin ərazi təşkilinin əsas amili olmalıdır. Ərazi potensiyalı daha böyük olan, dağlıq rayonlar olan Qusar və Qubada əhalinin yerlərdə qalması üçün dövlət tərəfindən müəyyən güzəştlərin verilməsi məqsədəuyğundur. Daha hündürdə yerləşən, ekstremal təbii şəraitli kəndlər üçün xüsusi güzəştlərin verilməsini nəzərdə tutan status müəyyənləşdirilməlidir.

Böyük Qafqaz təbii vilayətində əhalinin perspektiv məskunlaşması üçün ərazi potensialı nisbətən yaxşı olan ikinci **iqtisadi rayon Şəki-Zaqataladır**. Bu iqtisadi rayonun payına ölkə ərazisinin 10,3%-i, əhalisinin isə 6,5%-i düşür. Əhalinin hər 1 kv.km-dəki orta sıxlığı 61 nəfər olub, orta respublika səviyyəsindən 1,5 dəfə azdır. Əhali 6 şəhər, 5 qəsəbə, 334 kənddə məskunlaşmışdır.

Əhalinin bu iqtisadi rayonda perspektiv məskunlaşdırılması mövcud və artan insan potensialının yerlərdə saxlanılması olmalıdır. Şəki şəhərinin regional mərkəz kimi daha sürətli sosial-iqtisadi inkişafının təmin edilməsi olmalıdır. Şəki təkcə inzibati tabeliyində olan yaşayış məntəqələrinin deyil, bütün iqtisadi rayonun məskunlaşma sisteminin istinad-dayaq karkasını təşkil etməlidir. Belə bir funksiyanı yerinə yetirməsi üçün isə şəhər güclü sosial-iqtisadi bazaya malik olmalıdır.

Şəki şəhəri sərhəd regionun əsas mərkəzi kimi də güclü inkişaf etdirilməli, müasir əməktutumlu, mütərəqqi emaledici şəhəryaradıcı bazaya malik olmalıdır. Təkcə əhalinin əməkyaşlı sayına uyğun yox, həm də cins, yaş tərkibinə müvafiq istehsal infrastrukturu yaradılmalıdır. Ən əsası isə Şəki şəhərinin sosial-iqtisadi bazası və inkişafı onun demoqrafik inkişafını əhəmiyyətli dərəcədə qabaqlamalıdır.

Əhalinin ifrat dərəcədə cəmləndiyi və cəmlənməkdə davam etidiyi, yüksək səviyyədə urbanizasiyalaşan (daha çox isə «yalançı urbanizasiyalaşan») Abşeron iqtisadi rayonunda əhalinin cəmlənməsi məhdudlaşdırılmalı, ərazisindən maksimum səmərəli istifadə edilməlidir. Çoxlu işçi qüvvəsi cəlb edən, kənardan – regionlardan buraya əhali axıcılığına səbəb olan böyük sənaye müəssisələrinin yaradılması məqsədəuyğun deyildir. Məsələn, Sumqayıt şəhərinin yaxınlığında Yeni «sənaye zonası»nın salınması ideyası bu baxımdan düzgün deyildir. Bu tipli «sənaye zonaları»nın və ya «azad iqtisadi zonalar»ın digər regionlarda yaradılması isə əksinə, paytaxt regionuna əhali axıcılığını azaldar, demoqrafik təzyiqi yüngülləşdirmiş olar, ekoloji mühiti sağlamlaşdırmağa, sosial infrastrukturu yaxşılaşdırmağa kömək edər.

Azərbaycan Respublikasında **Kiçik Qafqaz təbii vilayətinin** payına ölkə ərazisinin 30,2%-i, əhalisinin 23,4%-i düşür. Burada yaşayan əhali 24 şəhər, 52 qəsəbə və 1479 kənddə məskunlaşmışdır. Cədvəldən göründüyü kimi, əhalinin hər 1 kv. km-dəki sıxlığı təqribən 75 nəfər olub, orta respublika səviyyəsindən xeyli aşağıdır

Kiçik Qafqaz təbii vilayətində əhalinin zəif məskunlaşdığı, əhalinin perspektiv məskunlaşdırılması üçün ərazi potensiyalı daha yaxşı olan **Kəlbəcər-Laçın iqtisadi** rayonudur. Bu iqtisadi rayonun payına 7,4% ərazi düşdüyü halda, burada ölkə əhalisinin 2,5%-i yaşayır. Dağlıq relyef, iqlim şəraitinin sərt olması, Ermənistanın təcavüzünə dəfələrlə məruz qalması nəticəsində zəif məskunlaşmış bu regionda əhalinin orta sıxlığı hər kv.km-də 33 nəfər təşkil edir. Bu da orta respublika səviyyəsindən 3 dəfəyə qədər azdır. Ermənistanın işğalı altında olan bu iqtisadi rayonda əhali 4 şəhər, 6 qəsəbə və 436 kənddə məskunlaşmışdı. Hazırda (2006-cı il) bu yaşayış məntəqələri ermənilər tərəfindən dağıdılmış, yerlə-yeksan edilmiş, az-çox yararlı tikinti materialları sökülüb Ermənistana daşınmışdır.

Kəlbəcər-Laçın iqtisadi rayonu həmişə əsas kənd təsərrüfatı, xüsusən də mühüm heyvandarlıq rayonu olmuşdur. Kənd təsərrüfatı isə əməktutumlu olmadığından əhalinin, xüsusən də əməkyaşlı cavan işçi qüvvəsinin yerlərdə saxlanılması həmişə problem yaratmışdır. Artan demoqrafik potensialın əhəmiyyətli hissəsi buradan kənarlara miqrasiya etməli olmuşdur. Ona görə də ənənəvi kənd təsərrüfatı sahələrini inkişaf etdirməklə yanaşı, əməktutumlu emaledici kiçik və orta həcmli sənaye müəssisələrinin də təşkil edilməsi məqsədəuyğundur. Belə müəssisələrin təkcə inzibati rayon mərkəzlərində, qəsəbələrdə deyil, həm də nisbətən böyük kənd-

lərdə yerləşdirilməsi sərfəlidir. Bunlar yeyinti və yüngül sənaye təyinatlı müəssisələr olmaqla bərabər, həm də yerli sənaye əhəmiyyətli mineral-xammal ehtiyatlarının kompleks, son məhsula kimi tam emalına əsaslanan mini-zavod və fabriklər olmalıdır. Məsələn, Kəlbəcər və Zəngilan qızıl yataqlarının istismarı zamanı bu xammalın əsasında bəzi inzibati rayon mərkəzlərində (məs. Laçın, Kəlbəcər şəhərlərində) zərgərlik məmulatı müəssisələri yaratmaq olar. Yerli civələn, (Ağyataq, Löhçay), travertin, perlit ehtiyatlarının kompleks emalı, mineral və müalicəvi bulaqlar, saf dağ havası əsasında kurort-turizm müəssisələrinin yaradılması da əhalinin yerlərdə məskunlaşmasını iqtisadi cəhətdən stimullaşdıran əsaslı amillər ola bilər.

Ümumiyyətlə, bu iqtisadi rayonda əhalinin yerləşdirilməsi və məskunlaşdırılmasına ərazinin təcavüzkar Ermənistanla separatçı Qarabağ erməniləri arasındakı coğrafi mövqeyi konteksində baxılmalıdır. Mürəkkəb və strateji geosiyasi mövqeyi baxımından burada əhalinin məskunlaşdırılması və yerləşdirilməsi dövlət səviyyəsində həyata keçirilən sosial-iqtisadi tədbirlər və xüsusi güzəştlər hesabına stimullaşdırılmalıdır.

Yuxarı Qarabağ iqtisadi rayonunun mənimsənilmə və əhalinin məskunlaşması üçün ərazi potensialı nisbətən yaxşı olsa da, müharibə şəraitinin mövcudlüğu, olması, ərazinin çox hissəsinin işğal altında qalması əhalinin səmərəli ərazi təşkilini mümkünsüz edir. Bu iqtisadi rayonun payına 8,4% ölkə ərazisi düşdüyü halda, burada ümumi əhalinin 7,4%-i cəmlənmişdir. Əhalinin sıxlığı orta respublika göstəricisindən (96 nəfər) az olub, 85 nəfər təşkil edir. Əhali 9 şəhər, 13 qəsəbə, 519 kənddə məskunlaşmışdır. Azərbaycanlılara məxsus işğal olunmuş bütün yaşayış məntəqələri ermənilər tərəfindən talan edilmiş, yandırılmış xarabalığa çevrilmişdir. Sərhəddə yerləşən yaşayış məntəqələri isə mütəmadi olaraq Ermənistan ordusu tərəfindən atəşə məruz qalmaqdadır.

Kiçik Qafqaz təbii vilayətinin, o cümlədən respublikanın da, əhalisi sıx məskunlaşan, ərazi potensialı nisbətən məhdud olan iqtisadi-coğrafi rayonu **Gəncə-Qazaxdır**. Zaman-zaman Ermənistanın təcavüzünə məruz qalan, tarixi ərazisinin (Göyçə mahalı, Dilican nahiyəsi və s.) xeyli hissəsinin adı çəkilən dövlət tərəfindən işğal olunması və öz dədə-baba yurdundan deportasiyaya məruz qalan yüksək demoqrafik potensiallı soydaşlarımızın da bu bölgədə məskunlaşması sıx məskunlaşmaya səbəb olmuşdur. Əhalinin daha sıx məskunlaşdığı və daha intensiv məskunlaşmaqda davam etdiyi Gəncə-Qazax maili düzənliyi, zəif məskunlaşdığı isə dağlıq hissələr, xüsusilə Ermənistanla həmsərhəd yerlər və Ceyrançöldür. Ümumiyyətlə, bu iqtisadi rayonun payına ölkə ərazisinin 14,4%-i düşdüyü halda, ümumi əhalinin 13,5%-i burada yaşayır. Əhalinin orta sıxlığı hər 1 kv.km-də 91 nəfər olub, orta respublika səviyyəsinə yaxındır. Ümumiyyətlə, əhalinin cəmlənmə, məskunlaşma səviyyəsinə görə Gəncə-Qazax Abşeron və Lənkəran-Astara iqtisadi rayonlarından sonra üçüncü yeri tutur. İqtisadi rayonun əhalisi 11 şəhər, 33 qəsəbə və 524 kənddə məskunlaşmışdır.

Gəncə-Qazax iqtisadi rayonunun perspektiv məskunlaşdırılmasını yerli demoqrafik potensialın sosial-iqtisadi tədbirlər hesabına yerlərdə saxlanılması, dağlıq, xüsusilə də Ermənistanla həmsərhəd ərazilərin intensiv mənimsənilməsi əhalinin burada güzəştli kompleks tədbirlər hesabına saxlanılması axıcılığının dayandırılması təşkil etməlidir. Sərhəd kəndlərinə xüsusi status verilməli, orada yaşayan əhalinin normal yaşaması, təsərrüfat fəaliyyətinin təmin edilməsi stimullaşdırılmalıdır.

Strateji geosiyasi mövqeyini və Borçalıda yaşayan soydaşlarımızın mənəvi dayağı rolunu da nəzərə alaraq bu bölgənin, hər şeydən əvvəl, yanacaq-enerji təminatı güzəştli (qiyməti) və davamlı olmalıdır. Su təminatı əhəmiyyətli dərəcədə yaxşılaşdırılmalıdır. Məsələn, hələ 2001-ci ildə aparılan hesablamalar göstərir ki, bu iqtisadi rayonda su ilə təminatda çətinliklər 57,9%, pis təminat 19,1%, yaxşı təminat isə 23,0% təşkil etmişdir.

Respublikanın sahəsinə görə ən böyük iqtisadi-coğrafi rayonu olan **Aranın** perspektiv məskunlaşdırılması və mənimsənilməsi üçün ərazi potensialı da genişdir. Bu iqtisadi rayon əhalisinin sayına görə respublikanın ikinci rayonu olub, burada ölkə əhalisinin 20,5%-i yaşayır. Onun payına isə ümumi ərazinin 24,8%-i düşür. İqtisadi rayonun əhalisi 18 şəhər, 39 qəsəbə və 792 kənddə məskunlaşmışdır. Əhalinin hər 1 kv. km-dəki orta sıxlığı orta respublika səviyyəsindən aşağı olub, 80 nəfər təşkil edir. Əhali daha sıx Mingəçevir-Yevlax (148 min nəfər) və Əli Bayramlı-Salyan (108,0 min nəfər) sənaye qovşaqlarında cəmləşnmişdir. Bu məskunlaşma areallarında əhalinin sıxlığı orta iqtisadi rayon səviyyəsindən xeyli yüksəkdir.

Aran iqtisadi rayonunda əhalinin perspektiv məskunlaşdırılması və ərazinin mənimsənil-

məsi kompleks meliorasiya tədbirlərinin həyata keçirilməsi ilə sıx əlaqədardır. Qrunt sularının səviyyəsinin aşağı salınması hesabına şoranlaşmanın, bataqlıqlaşmanın qarşısının alınması, Kür çayının məcrasında mütəmadi olaraq hidrotexniki tədbirlərin görülməsilə axımın sürətləndirilməsi hesabına ətraf yaşayış məntəqələrin qrunt sularından qorunması, sənaye tullantıları ilə çirklənmiş torpaqların rekultivasiyası, münbitliyinin artırılması, suvarma suyundan qənaətlə istifadə və s. əhalinin səmərəli ərazi təşkilinə müsbət təsir edən amillərdəndir. Düzən relyef, əlverişli torpaq-iqlim şəraiti və iqtisadi-coğrafi mövqe, nisbətən yüksək demoqrafik potensial ərazinin mənimsənilməsi və məskunlaşması üçün geniş imkanlar açsa da, torpaqdan maksimum qənaətlə, yaşayış məntəqələrinin daxili ərazi potensialından səmərəli istifadə edilməlidir. Yeni tikililər, çəkilən yollar mümkün qədər əkinə yararlı torpaqları tutmamalı və ya münbitliyi zəif olan az yararlı yerləri əhatə etməlidir.

Azərbaycan Respublikasının iqtisadi-coğrafi rayonları arasında Abşerondan sonra əhalinin sıx məskunlaşdığı ikinci bölgə **Lənkəran-Astaradır**. Ölkənin bütün regionları ilə müqayisədə burada həmişə əhalinin yüksək təbii artımı, ərazinin nisbətən məhdudluğu, əməktutumlu tərəvəzçiliyin inkişafı, əlverişli iqtisadi-coğrafi mövqe və s. burada əhalinin sıx məskunlaşmasına, intensiv mənimsənilmə areallarının yaranmasına səbəb olmuşdur. İqtisadi rayonun payına ölkə ərazisinin 7,0%-i düşdüyü halda, burada ümumi respublika əhalisinin 9,3%-i cəmlənmişdir. Əhalinin hər 1 kv.km-dəki sıxlığı 128 nəfər olub, müvafiq orta respublika səviyyəsindən 32 nəfər çoxdur. Əhali 6 şəhər, 11 qəsəbə, 637 kənddə məskunlaşmışdır. Yaşayış məntəqələrinin sıxlığı orta respublika səviyyəsindən əhəmiyyətli dərəcədə çoxdur. Əgər ümumi Azərbaycan üzrə hər min kv. km-ə 49 kənd düşürsə, burada həmin ərazi vahidinə 104 kənd düşür. Bu da orta respublika səviyyəsindən 2 dəfədən də artıq deməkdir. Lənkəran ovalığı, dağətəyi ərazilər əhalinin ifrat, dağlıq yerlər isə (Lerik, Yardımlı rayonlarının ərazisi) nisbətən zəif məskunlaşdığı sahələrdir.

Lənkəran-Astara iqtisadi raoynunda əhalinin perspektiv məskunlaşdırılması Lənkəran ovalığı və dağətəyi ərazilərdə əhalinin cəmlənməsinin məhdudlaşdırılmasına, dağlıq ərazilərdə isə stimullaşdırılmasına istiqamətləndirilməlidir. Əhalinin ifrat məskunlaşma arealları daxilində yerdən (sahədən) maksimum səmərəli və qənaətlə istifadə edilməli, əhalinin uzun müddət qalması nəzərdə tutulmayan yeraltı tikililərə (məsələn, anbarlar, qarajlar, soyuducuxanalar) üstünlük verilməli, yaşayış məntəqələrinin daxili ərazi potensialından maksimum qənaətlə istifadə edilməlidir. Relyef şəraitinin daha çox imkan verdiyi dağlıq və dağətəyi yerlərdə yeraltı tikililərə üstünlük verilməlidir. Belə təyinatlı tikililər nisbətən baha başa gəlsə də, son nəticədə yerə (torpağa) qənaət edildiyindən iqtisadi cəhətdən sərfəlidir. Zənnimizcə, yeraltı tikililər həm də dövlət tərəfindən maddi və iqtisadi cəhətdən stimullaşdırılmalı, onların inkişafı üçün müəyyən güzəştlər verilməli, yardımlar edilməlidir.

Uzun müddət Ermənistan tərəfindən blokadada saxlanılana, təcavüzə məruz qalan, Azərbaycanla birbaşa əlaqəsi olmayan, hazırda da, gələcəkdə də ərazi iddiasında olan erməni vəhşiləri ilə qonşuluqda yaşamağa məcbur olan Naxçıvan MR-də əhalinin perspektiv məskunlaşdırılmasına, ərazi təşkilinə xüsusi yanaşma tələb olunur. Məhz uzun müddət Ermənistan tərəfindən blokadada olmasının və təzavüzə məruz qalmasının, nəticəsidir ki, burada əhalinin təbii artımı əhəmiyyətli dərəcədə aşağı düşmüş, kənarlara axıcılığı çoxalmış, əhalinin say artımı tempi azalmışdır. Əhalinin sıxlığı orta respublika səviyyəsindən xeyli aşağıdır. Hazırda Naxçıvan MR-in payına ölkə ərazisinin 6,4%-i düşdüyü halda, ümumi əhalinin 4,5%-i düşür. Muxtar Respublikanın əhalisi 4 şəhər, 4 qəsəbə və 208 kənddə məskunlaşmışdır. Əhalinin əsas məskunlaşma arealları Şərur-Ordubad düzənliyi və çay vadiləridir. Dağlıq relyef, iqlim şəraitinin sərtliyi və quraqlıq ərazinin mənimsənilməsini və məskunlaşdırılmasını məhdudlaşdıran amillər olsa da, burada perspektiv məskunlaşma üçün yeraltı və yerüstü sərvətlər boldur, ərazi potensialı çoxdur. Hər şeydən əvvəl isə, strateji və mürəkkəb geosiyasi mövqeyi ilə bağlı Naxçıvan Muxtar Respublikasında əhalinin demoqrafik inkişafı və onun yerlərdə saxlanılması, məskunlaşdırılması dövlət tərəfindən həmişə nəzarətdə olmalı və güzəştli sosial-iqtisadi tədbirlər hesabına stimullaşdırılmalıdır. Muxtar respublikanın etibarlı və davamlı yanacaq-enerji təminatı olmalıdır. Bunun üçün isə coğrafi cəhətdən muxtar respublikadan çox da uzaqdan keçməyən Bakı-Tiflis-Ərzurum qaz kəmərindən (Türkiyə ərazisindən) bura xəttin çəkilməsi böyük rol oynamış olardı. Təbii qaz əsasında hətta müxtəlif məhsullar istehsal edən qaz emalı müəssələri də tikmək və müxtəlif həcimli istilik elektrik stansiyaları da

yaratmaq olar. Bu da əlavə iş yerlərinin açılmasına, əhalinin həyat səviyyəsinin yaxşılaşmasına səbəb olmaqla, əhalinin yerlərdə qalmasına, demoqrafik inkişafa müsbət təsir etmiş olar.

Ümumiyyətlə, Azərbaycan Respublikasında əhalinin məskunlaşması və ərazinin mənimsənilməsinin regional təhlili və əsas iqtisadi-coğrafi istiqamətlərinin müəyyənləşdirilməsi aşağıdakı nəticələrə gəlməyə əsas verir:

1. Perspektiv mənimsənilmə üçün ərazi potensialı məhdud olan, ifrat məskunlaşmış iqtisadi-coğrafi rayonlar: Abşeron, Lənkəran-Astara, Gəncə-Qazax.
2. Ərazi potensiyalı orta respublika səviyyəsindən nisbətən yaxşı olan iqtisadi-coğrafi rayonlar: Aran, Yuxarı Qarabağ.
3. Mənimsənilmə və perspektiv məskunlaşma üçün ərazi potensiyalı daha yaxşı olan iqtisadi-coğrafi rayonlar: Kəlbəcər-Laçın, Şəki-Zaqatala, Dağlıq Şirvan, Quba-Xaçmaz, Naxçıvan MR.

ƏDƏBİYYAT

MEHRƏLİYEV, E.Q., ƏYYUBOV, N.H., SADIQOV, M.O. 1988. Azərbaycan SSR-də əhalinin məskunlaşması məsələləri. Bakı. 192 .

Azərbaycan Respublikasının konstruktiv coğrafiyası. 2000.

ƏFƏNDİYEV, V. 2002. Urbanizasiya və Azərbaycanın şəhər yaşayış məntəqələri. Bakı. 395 .

Azərbaycanın regionları, 2005.Bakı. 713.

Azərbaycanın demoqrafik göstəriciləri (statistik məcmuə). 2006. Bakı. 427.

Azərbaycanda ərzaq təhlükəsizliyi. 2005,623 s.

БУДАГОВ, Б.А., ЭЙЮБОВ, Н.Г. 2005. Население и расселение в аридной зоне Азербайджана. *Проблемы освоения пустынь,*1, 15-16.

Məqaləyə c.e.n. S.K.Nağıyev rəy vermişdir