© Т.М.Эйбатов, О.А.Зейниев, И.М.Мустафаев, Т.Я.Сулейманов, М.Б.Сулейманова, 2015

# НОВЫЕ НАХОДКИ *ANSER ERYTHROPUS L.* В ПЛЕЙСТОЦЕНОВЫХ БИНАГАДИНСКИХ КИРОВЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ АЗЕРБАЙДЖАНА

**Т.М.Эйбатов, О.А.Зейниев, И.М.Мустафаев, Т.Я.Сулейманов, М.Б.Сулейманова**

*Институт геологии и геофизики НАН Азербайджана*
*AZ 1143, Баку, просп. Г.Джавида, 119*
*Тел.: (99412) 4392770, 5100141(доп. 111)*
*Факс: (99412) 4975285*
*E- mail: gia@azdata.net*

Бинагадинское кировое местонахождение четвертичной фауны и флоры является уникальным и крупнейшим верхнеплейстоценовым кладбищем мировой флоры и фауны. С момента обнаружения древнего озера в 1938 году сотрудниками Естественно-исторического музея им. Г.Зардаби совместно с российскими специалистами проводились планомерные работы по определению видового разнообразия ископаемой флоры и фауны. До настоящего времени палеорнитофауна бинагадинского четвертичного захоронения была представлена 109 видами ископаемых птиц, из которых 24 вида являлись представителями отряда *Anseriformes*. При анализе ископаемого материала (из старых и новых раскопок) были обнаружены костные останки пискульки, которые в бинагадинских кировых отложениях ранее описаны не были. В настоящей статье приводится описание пискульки (*Anser erythropus L.*) по единственно найденной правой локтевой кости.

## Введение

Бинагадинское кировое местонахождение является уникальным и крупнейшим верхнеплейстоценовым кладбищем флоры и фауны не только Азербайджана, но и всего мира (более 300 видов животных и растений). С ним сопоставимо только более позднее калифорнийское местонахождение Ранчо ла-Бреа в США.

Бинагадинское кировое местонахождение открыто в 1938 г. студентом-дипломантом Азербайджанского индустриального института А.С.Мастанзаде, работавшим в Кировском районе возле с. Бинагады по разведке битумов. С тех пор сотрудники Естественно-исторического музея им. Г.Зардаби проводят в этом районе раскопки и изучают ископаемые остатки. Местонахождение костей совпало с местом древнейшей добычи нефти и битума на Абшеронском полуострове. Там до сих пор сохранились полуразваленные и частично засыпанные колодцы, из которых вручную добывали кир и нефть.

Изучение бинагадинского тафоценоза весьма важно для реконструкции фауны четвертичного периода Евразии и истории формирования современной фауны Абшерона. Ведущую роль при определении бинагадинского остеологического материала играли макроструктурные маркеры, доказавшие свою приоритетную значимость для определения таксономического статуса. Обнаружение локтевой кости пискульки в бинагадинских кировых отложениях не является случайным, так как, будучи перелетной птицей и типичным представителем водного сообщества, она часто совершала пролеты над бинагадинским озером и могла оказаться в этом регионе во время зимовки.

Для точной таксономической диагностики были также исследованы микроструктурные особенности строения ископаемой локтевой кости пискульки с целью сравнения с современными видами рода *Anser,* встречающимися на территории Азербайджанской Республики. Результаты этих исследований будут опубликованы в ближайшее время.

## Материал и методика

Объектом для исследования послужил один вид, принадлежащий к роду *Anser*. Для сравнения был использован костный материал отряда гусеобразных, который хранится в коллекции музея.

При измерении локтевой кости авторы руководствовались системой промеров по Морер-Шевире (Mourer-Chauvire, 1975) и Е.Н.Курочкину (1979). При описании локтевой кости использовалась терминология по Баумелю (Baumel et al., 1993), принятая международной комиссией по анатомической номенклатуре.

Микроструктуру костей изучали на поперечных декальцинированных и недекальцинированных шлифах в проходящем и отраженном свете микроскопа МБИ-6 и бинокулярной лупы.

**Местоположение и стратиграфический возраст**

Бинагадинское захоронение четвертичной фауны и флоры расположено в центре Абшеронского полуострова в юго-восточной части села Бинагады. На месте бинагадинского захоронения 40-150 тыс. лет назад находилось древнее пресноводное либо слабосоленое озеро, вокруг которого существовали естественные разливы нефти, образующие непроходимые нефтяные топи, губительные для животных. Местами нефть проникала в само озеро. Палеоэкологическая обстановка того времени представлена как водно-болотистое сообщество.

В результате многолетней работы сотрудников Естественно-исторического музея им. Г.Зардаби: В.В.Богачева (1939), П.В.Серебровского, (1948), Н.И.Бурчак-Абрамовича (1949, 1950, 1952, 1962), Р.Д.Джафарова (1954) по сбору и изучению ископаемых бинагадинских птиц было определено 109 видов птиц. В настоящее время ископаемый остеологический материал хранится в Естественно-историческом музее.

С мая 2012 года начался третий этап исследований и раскопок на территории Бинагадинского местонахождения ископаемой четвертичной фауны и флоры. В ходе этих работ были исследованы старые костеносные пласты, а также выявлены новые пласты, богатые образцами ископаемой фауны и флоры. Участок исследования был разбит на квадраты (1x1), на которых проводились раскопки, в одном из квадратов 7В на глубине 1,2-1,3 м была обнаружено локтевая кость пискульки.

При определении бинагадинских ископаемых костных остатков птиц в первую очередь учитывались особенности строения макро- и микроструктуры кости с учетом палеогеографической, палеоэкологической обстановки верхнего плейстоцена. Экологическое воздействие (климатический режим, местообитание, способ добывания пищи и т.д.) является одним из основных факторов, оказывающих активное влияние на жизнедеятельность птиц. Как известно, ископаемые птицы плейстоценового периода жили в условиях периодически повторяющихся материковых оледенений. В условиях непрекращающихся изменений окружающей среды плейстоценовые птицы в поисках подходящих условий обитания благодаря высокой мобильности проникали далеко на север в периоды межледниковья. В результате этих перемещений, вероятно, и формировались маршруты миграций птиц. В настоящий момент в современной орнитофауне Азербайджанской Республики встречаются все найденные ископаемые бинагадинские виды, за исключением некоторых (полярная сова *Nycteascandiaca*, полярная чайка *Larushyperboreus*). В палеозоогеографическом смысле большинство найденных птиц в бинагадинском захоронении, несомненно, относится к палеарктической фауне плейстоценовых степей и лесостепья.

При определении ископаемых видов морфометрические маркеры не всегда могут дать желаемый результат. Как известно, костная ткань отличается наибольшей прочностью и вместе с тем очень большой пластичностью. Активная перестройка костной ткани в зависимости от характера нагрузки, а также факторов внешней среды может вызвать как увеличение, так и уменьшение костной массы, изменяя при этом архитектонику костной ткани птиц. Эти изменения хорошо прослеживаются в найденных костных остатках бинагадинских подвидов птиц (кряква, лебедь-шипун, пеликан и др.), среди них встречаются как крупные, так и мелкие подвиды. Макроструктурные различия в скелете между видами одного рода и семейства у современных птиц отряда *Anseriformes* выражены в различной степени. Макроструктурные изменения в скелете птиц определенного вида в связи с адаптацией к новым условиям не всегда могут привести к структурным изменениям микроскопического строения кости. В связи с морфологической монолитностью семейства и значительным сходством микроструктурных особенностей костей, использование этих параметров для таксономических определений затруднено, однако они имеют решающее значение при использовании фрагментарного материала.

К настоящему времени общее количество определенных бинагадинских птиц отряда *Anseriformes* составляет 22 вида. Естественно-исторический музей им. Г.Зардаби располагает остеологической коллекцией современных птиц, что в свою очередь позволяет нам расширить список ископаемых видов.

### Морфологические особенности локтевой кости

В строении локтевой кости намечаются некоторые черты, свойственные всем представителям отряда гусеобразных. Это в основном касается проксимального и дистального эпифизов кости. Несмотря на морфологическую гомогенность отряда гусеобразных, локтевая кость имеет ряд видоспецифичных родовых особенностей. Локтевая кость у гусей легко определяется по характерной форме проксимальной части эпифиза, *crista intercotylaris* с каудальной стороны практически не выражен. Место крепления *musculus biceps brachii* разделено от *facies articularis radialis*. Площадка крепления *ligamento ulno-metacarpale ventrale* расположена на краю грани *tuberculum carpale*.

Первые попытки синтезировать все возможные остеологические данные и дать качественное остеологическое описание ископаемых и современных гусеобразных в мировом масштабе были предприняты Уилфенденом (Woolfenden, 1961).

С развитием кладистическо-филогенетического метода анализа (Wheeler, 1986) Лайвези (Livezey, 1986, 1989, 1996, 1997). Эриксон (Ericson, 1997) и Зуси (Livezey, Zusi, 2007) с целью усовершенствования этой методики использовали и дополняли морфологические характеристики, описанные Уилфенденом (Woolfenden, 1961).

Несмотря на детальное и скрупулезное исследование посткраниального скелета гусеобразных, авторами не были изучены морфологические особенности локтевой кости, хотя в палеонтологических захоронениях локтевая кость встречается часто.

### Результаты и обсуждения

Семейство: *Anatidae*
Подсемейство: *Anserinae*
Триба: *Anserini*
Род: *Anser Brisson*, 1760
Вид: *Anser erythropus Linnaeus*, 1758

**Материал.** Правая локтевая кость, состоящая из двух частей, № B- 109, кв.7B, глубина 1,2 -1,3 м, материал хранится в коллекции Естественно-исторического музея им. Г.Зардаби НАН Азербайджана.

**Сравнение и замечания.** Проксимальная и дистальная часть эпифиза локтевой кости в хорошей сохранности. Локтевая кость пискульки имеет ряд специфических отличий как в общем строении, так и в отдельных частях диафиза кости. При анализе остеологического материала пришлось ориентироваться в первую очередь на остеометрические показатели, приведенные в таблице (табл.). Морфометрическое сравнение проводилось с *Anser albifrons,* которая является сестринским видом (Livezey, 1996). Из таблицы видно, что по размерам ископаемая пискулька мало чем отличается от современной.

Морфологические особенности кости имеют ряд типичных признаков, которые являются отличительными маркерами при сравнении ее с *Anser albifrons* и *Anser anser*. Вершина *olecranon* с вентральной стороны у ископаемой кости овальной формы и уплощена. У пискульки место крепления *ligamentum collaterale ventrale* к вентральному краю *cotyla ventralis* хорошо оконтурено и имеет небольшое углубление (рис. 1A, B). Дистальный отдел *facies artcularis radialis* маленький и имеет форму узкого овала (рис. 2 C, D).



A B

**Рис. 1.** Дистальный отдел правой локтевой кости ископаемой *Anser erythropus*:
A – вид с вентральный стороны, B – вид с дорсальной стороны

**Замечание.** Сравнивая с белолобым гусем, который является наиболее близким видом, мы находим некоторые отличия, различающие эти два вида. У белолобого гуся место крепления

*ligamentum collaterale ventrale* направлено к вентральному краю *cotyla ventralis* в форме полумесяца, с загибом в краниальную сторону; углубление для связки отсутствует, дистальный отдел *facies articularis radialis* треугольной формы. Проведенное сравнение позволило установить принадлежность ископаемой локтевой кости пискульке.



C D

**Рис. 2.** Проксимальный отдел правой локтевой кости ископаемой *Anser erythropus*:
C – вид с каудальной стороны, D – вид с краниальной стороны.

Сообщения о находке *Anser erythropus* L. в ископаемом состоянии ограничиваются плейстоценовым и голоценовым периодами палеарктического региона (Tyrberg, 1998). В ископаемом состоянии пискулька обнаружена: в Австрии в пещере Офенбергерхохле, датированной верхним плейстоценом (Tyrberg, 1998); во Франции в пещере Абри-Суд, слой 4, датированный верхним плейстоценом (Bonifay et al., 1998); в Италии в пещере Романелли в слоях A1, A2, B, Csup., Cinf., D, E, A-E и Спинагалло, датированных верхним плейстоценом (Cassoli, Tagliacozzo, 1997; Pavia, 1999); в России в пещере Большой Глухой, слой IX, верхний плейстоцен (Potapova, 2001); в Испании в пещере Еспаус, верхний плейстоцен (Alcover et al., 1992, 2000); в Болгарии в пещере Деветашка, верхний плейстоцен (Boev, 1998, 1999); в Германии (Buhlen Upper Rock Shelter) в слое IIIc, верхний плейстоцен (Eastham, 1998); в Турции в Дурсунлу, нижний плейстоцен (Louchart et al., 1998).

Область гнездования современной пискульки охватывает ландшафты лесотундры и тундры Евразии. В настоящее время в Азербайджанской Республике *Anser erythropus* L. Является зимующей и пролетной птицей, основные места зимовки – Лянкяранская низменность, Прикуринские водоемы и побережье Каспия (Туаев, 2000).

Сравнительно-морфометрическая характеристика ископаемой локтевой кости с рецентным видом

| Вид | Промеры локтевой кости, мм | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | a | b | c | d | e |
| Ископаемая пискулька (*Anser erythropus* L.) № 109 | 12,8 | 16 | 6,8 | 13 | 11 |
| Современная пискулька (*Anser erythropus* L.) № 140 | 12,4 | 17 | 6 | 13 | 11 |
| Современная пискулька (*Anser erythropus* L.) № 143 | 12,5 | 17 | 6,3 | 13 | 11 |

Условные обозначения: a – наибольшая длина кости, b – наибольшая ширина проксимального эпифиза, c – наименьшая ширина диафиза (середина диафиза), d – наибольшая ширина дистального эпифиза, e – переднезадний диаметр *condylus dorsalis*.

**ЛИТЕРАТУРА**


БОГАЧЕВ, В.В. 1939. Бинагады – кладбище четвертичной фауны на Апшеронском полуострове. Изд-во АзФАН СССР. Баку. 84.

БУРЧАК-АБРАМОВИЧ, Н.И. 1949. Новые данные бинагадинского местонахождения битумов об ископаемых птицах. *ДАН Азерб.ССР*, 8, 6, 224-229.

БУРЧАК-АБРАМОВИЧ, Н.И. 1950. Новые данные о бинагадинских птицах. *ДАН Азерб.ССР*, 6, 2, 87-91.

БУРЧАК-АБРАМОВИЧ, Н.И. 1952. Ночные хищные птицы (совы) бинагадинских битумов. *ДАН Азерб.ССР*, 8, 1, 25-29.

БУРЧАК-АБРАМОВИЧ, Н.И. 1962. Новые данные о бинагадинских птицах. *Орнитология, 4*. Издательство Московского Университета. Москва. 458- 464.

ДЖАФАРОВ, Р.Д. 1943. Птицы бинагадинских раскопок. *Известия АзФАН СССР*, 7.

КУРОЧКИН, Е.Н. 1979. Методы изучения ископаемых птиц. Наука. Москва. 152-163.

СЕРЕБРОВСКИЙ, П.В. 1948. Птицы бинагадинских кировых отложений. *Труды Ест.-ист. музея АН Азерб.ССР*, В, I-II, 21-75.

ТУАЕВ, Д.Г. 2000. Каталог птиц Азербайджана. Элм. Баку. 240.

ALCOVER, J.A. 2000. Vertebrate evolution and extinction on western and central Mediterranean islands. *Tropics,* 10 (1), 103-123.

ALCOVER, J.A., FLORIT, F., MOURER-CHAUVIRE, C., WEESIE, P.D.M. 1992. The avifaunas of the isolated Mediterranean islands during the Middle and Late Pleistocene. In Campbell Jr. K.E. (Ed.): *Papers in Avian Palaeontology Honouring Pierce Brodkorb*. Natural History Museum of Los Angeles County, Science Series 36, 273-284.

BAUMEL, J.J., KING, A.S., BREAZILE, J.E., EVANS, H.E., VANDEN BERGE, J.C. 1993. Handbook of avian anatomy: Nomina Anatomica Avium. *Publications of the Nuttall Ornithological Club*, 23, 779 p.

BOEV, Z. N. 1998. The Paleolithic avifauna of Bulgaria. *ICAZ Bird Working Group Meeting. Final Program and Abstracts*, August 19-22. MacLaurin Building, University of Victoria, BC, Canada, 12-13.

BOEV, Z.N. 1999. Neogenski I Kvaternerni ptitsi (Aves) ot Bulgariya. Avtoreferat na disertatsiya za poluchavane na nauchnata stepen «Doktornanaukite».Sofiya. 67 p.

BONIFAY, E., BASSIAKOS, Y., BONIFAY, M.-F., LOUCHART, A., MOURER-CHAUVIRE, C., PEREIRA, E., QUINIF, Y., SALOTTI, M. 1998. La grotte de la Cascia (Rogliano, Macinaggio): Etude preliminaire d'un noveau site du Pleistocene superieur de Corse. *Paleo*, 10, 17-41.

CASSOLI, P.F.,TAGLIACOZZO, A. 1997. Butchering and cooking of birds in the palaeolithic site of grotta Romanelli (Italy). *International Journal of Osteoarchaeology*, 7, 303-320.

EASTHAM, A. 1998. Buhlen Upper cave: the Avifauna, an interim report. *Jahrbuch des Romisch-Germanischen Zentral museums*, Mainz, 45, 251-266.

ERICSON, P.G.P. 1997. Sistematic relationships of the palaeogene family Presbyornithidae (Aves: Anseriformes). *Zoological Journal of the Linnean Society,* 121, 429-483.

LIVEZEY, B.C. 1986. A phylogenetic analysis of Resent anseriform genera using morphological characters. Auk, 105, 681-698.

LIVEZEY, B.C. 1989. Phylogenetic relationships of several subfossil Anseriformes of New Zealand. *Occasional papers of the Museum of Natural History of the University of Kansas*, 128, 1-25.

LIVEZEY, B.C. 1996. A phylogenetic analysis of geese and swans (Anseriformes: Anserinae) including selected fossil species. *Annals of the Carnegie Museum*, 65, 27-88.

LIVEZEY, B.C. 1997. A phylogenetic classification of waterfowl (Aves: Anseriformes), including selected fossil species. *Annals of the Carnegie Museum*, 67, 457-496.

LIVEZEY, B.C., ZUSI, R.L. 2007. Higher-order phylogeny of modern birds (Theropoda, Aves: Neornithes) based on comparative anatomy. II. Analysis and discussion. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 149, 1-95.

LOUCHART, A., MOURER-CHAUVIRE, C., GULEC, E., HOWELL, F. C., WHITE, T.D. 1998. L'Avifaune de Dursunlu, Turquie, Pleistocene inferieur: climat, environnement et biogeographie. *C. R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la terreet des planetes,*327, 341-346.

MOURER-CHAUVIRE, C. 1975. Les oiseaux du Pleistocene moyen et superieur de France. *Docum. Lab. Geol. Fac. Sci. Lyon,* 64 (1), 1-261.

PAVIA, M. 1999. The Middle Pleistocene avifauna of Spinagallo cave (Sicily, Italy): preliminary report. *Smithsonian Contributions to Paleobiology*, 89, 125-127.

POTAPOVA, O.R. 2001. Snowy owl *Nyctea scandiaca* (Aves: Strigiformes) in the Pleistocene of the Ural Mountains with notes on its ecology and distribution in the Northern Palearctic. *DEINSEA*, 8, 103-126.

TYRBERG, T. 1998. Pleistocene birds of the Palearctic: a Catalogue. *Publications of the Nuttall Ornithological Club*, 27, Cambridge, Massachusetts.

WHEELER, Q. 1986. Character weighting and cladistic analysis. *Systematic Zoology*, 38,102-109.

WOOLFENDEN, G.E. 1961. Postcranial osteology of the waterfowl. *Bulletin of the Florida State Museum. (Biol.Sci.)*, 6, 1-129.


***Рецензент: д.г.н. Е.Н.Тагиева***

© Н.Р.Карагезова, 2015

# ФРАКТАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА СЕЙСМИЧНОСТИ АБШЕРОН-ПРИБАЛХАНСКОЙ ЗОНЫ КАСПИЙСКОГО МОРЯ

**Н.Р.Карагезова**

*Институт геологии и геофизики НАН Азербайджана*
*AZ1143, Баку, просп. Г.Джавида, 119*

Для Абшерон-Прибалханской зоны Каспийского моря характерны землетрясения с относительно широким диапазоном магнитуд. В статье исследуются количественные характеристики самоподобия сейсмического процесса, протекающего в пределах Абшерон-Прибалханской зоны Каспийского моря. Проводился фрактальный анализ для землетрясений ($2.5 \leq M \leq 7$) за временной интервал 1963-2013 гг. В результате для Абшерон-Прибалханской сейсмической зоны были определены закон повторяемости землетрясений (в частности, параметра b из закона Гутенберга-Рихтера) и фрактальные размерности распределения сейсмических событий по энергиям и эпицентрам. Рассчитанные фрактальные значения могут свидетельствовать о достаточно высоком уровне накопленного тектонического напряжения.

**Введение.** Абшерон-Прибалханская зона поднятий отделяет глубинный Южно-Каспийский бассейн от более мелкого северного Каспия и характеризуется относительно высокой сейсмичностью сравнительно с другими областями Каспия (Гаджиев, 1965; Агамирзоев, 1987; Хаин и Богданов, 2003). Для Абшерон-Прибалханской зоны Каспийского моря характерны землетрясения с относительно широким диапазоном магнитуд. Анализ землетрясений данной зоны выявляет диапазон магнитуд приблизительно от 2 до 7. Отметим, что Абшерон-Прибалханская зона представляет сейсмическую опасность для Абшеронского полуострова. Важность сейсмических рисков и тщательного интегрированного изучения данной проблемы подчеркивается тем, что Абшеронский полуостров на сегодняшний день является быстро растущим густонаселенным урбанизированным регионом со столицей Баку.

В настоящее время теория фрактальных множеств и мультифрактальных мер широко применяется для описания многих природных процессов, в том числе и сейсмичности (Федер, 1991; Захаров, 2008; Turcotte, 1992).

В настоящей статье рассматриваются количественные характеристики самоподобия сейсмического процесса, протекающего в пределах Абшерон-Прибалханской зоны Каспийского моря.

При проведении данного исследования нами были использованы различные каталоги землетрясений, на основе которых был составлен сводный каталог землетрясений, охватывающих территорию Азербайджана и сопредельные области. За основу каталога землетрясений был принят каталог Геофизического Центра Российской Академии наук под редакцией А.А.Годзиковской (в который включены землетрясения Кавказа с древнейших времен до 1997 года) и Республиканского Центра Сейсмологической Службы Национальной Академии наук Азербайджана (Атлас землетрясений в СССР, 1962; Гасанов, 2003; Кондорская и др., 1977). Все эпицентры расположены в прямоугольнике с координатами: 39,0-41,0° широты, 49,5-54,0° долготы. Каталог содержит 893 землетрясения с магнитудами от M=2,5 до M=7,0. На рис. 1 представлена карта распределения эпицентров землетрясений Абшерон-Прибалханской зоны за период 1963-2013 гг. Выбранный временной период (1963-2013 гг.) объясняется тем, что данные сейсмических каталогов за более ранний период, касающиеся землетрясений исследуемой Абшерон-Прибалханской зоны, отличаются высокой степенью неполноты и недостаточной точностью данных.

## Фрактальная размерность эпицентрального распределения землетрясений Центрально-Каспийской зоны (Абшерон-Прибалханский регион)

Для определения фрактального показателя ($D_e$) распределения эпицентров землетрясений нами использовался клеточный метод (Turcotte, 1992, 1997; Robertson et al., 1995; Захаров, 2008; Крылов, Бобров, 2004; Мандельброт, 2002). Данная методика была успешно апробирована при изучении фрактальных показателей сейсмичности различных регионов мира.

Сущность метода заключается в следующем. Исследуемое фрактальное множество покрывается сетью клеток со стороной размером r. Далее строится зависимость количества непустых клеток N от размера стороны клетки r, которую можно описать следующим соотношением: $\lg N(r) = -D_e * \lg(r) + c$.

В приведенной формуле N – количество сейсмических событий в выборке с магнитудой ≥M, происшедших в регионе исследования за определенный временной интервал; c – эмпирический коэффициент; r – размер стороны клетки разбиения, который уменьшается с каждой итерацией. При этом исследуемое фрактальное множество считается однородным. Коэффициент $D_e$ представляет собой фрактальную размерность изучаемого множества, т.е. фрактальную размерность эпицентрального распределения землетрясений.

На карте показаны эпицентры землетрясений исследуемой Абшерон-Прибалханской зоны (рис. 1).

На рис. 2 приводится полученный на основе вышеописанного клеточного метода логарифмический график, выражающий зависимость количества непустых клеток *N* (то есть клеток, в которых располагается хотя бы один эпицентр землетрясений) от размера клеток разбиения изучаемой территории *r*.

Как видно из приведенного выше графика, получено следующее соотношение: $\lg(N) = -1{,}10 * \lg(r) + 0{,}92$. Следовательно, показатель фрактальной размерности распределения эпицентров землетрясений Абшерон-Прибалханского участка Каспийского моря составляет $D_e = 1{,}10$. Установлено (Turcotte, 1992, 1997), что максимальное значение фрактальной размерности $D_e=2$ является характеристикой полностью однородного распределения эпицентров. Чем ниже значения размерности распределения эпицентров $D_e$, тем выше степень их пространственной корреляции.

**Фрактальная размерность энергетического распределения землетрясений Центрально-Каспийской зоны (Абшерон-Прибалханский регион)**

Наряду с фрактальностью эпицентрального распределения землетрясений, исследовалась также фрактальность распределения землетрясений Абшерон-Прибалханской зоны Каспийского моря по энергиям. С этой целью на базе составленного сводного каталога был построен график повторяемости землетрясений Абшерон-Прибалханской зоны (рис.3). Как известно, график повторяемости выражает логарифмическую зависимость количества землетрясений от магнитуды.

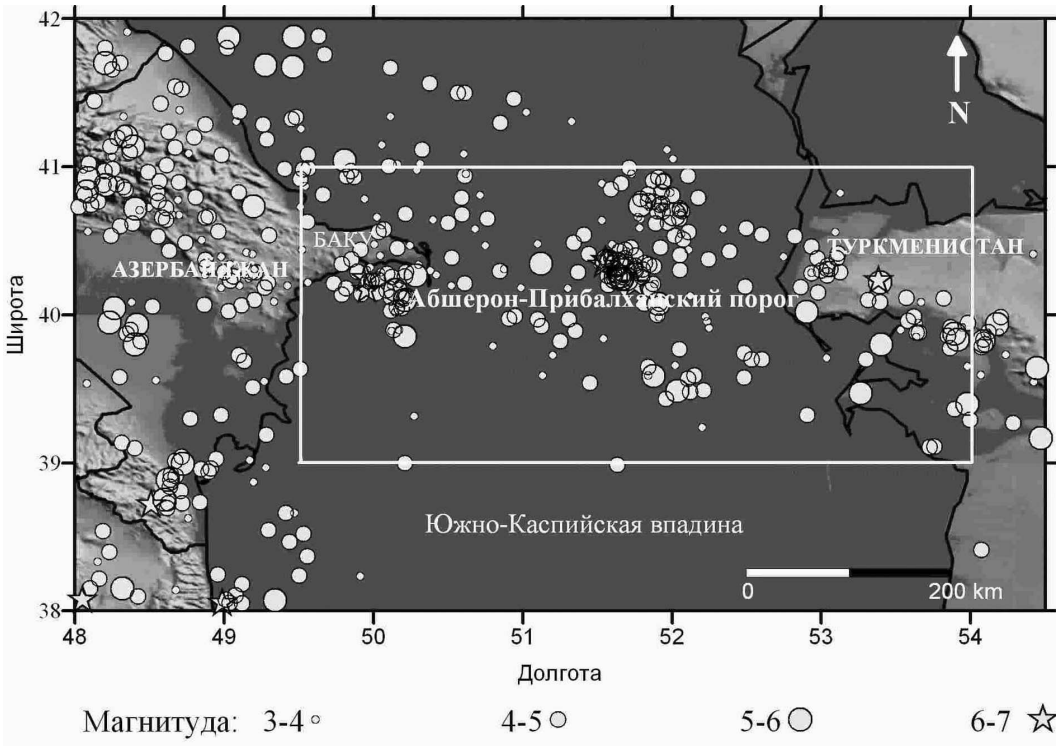



**Рис. 1.** Пространственное распределение эпицентров землетрясений Абшерон-Прибалханской зоны (1963-2013 гг.)

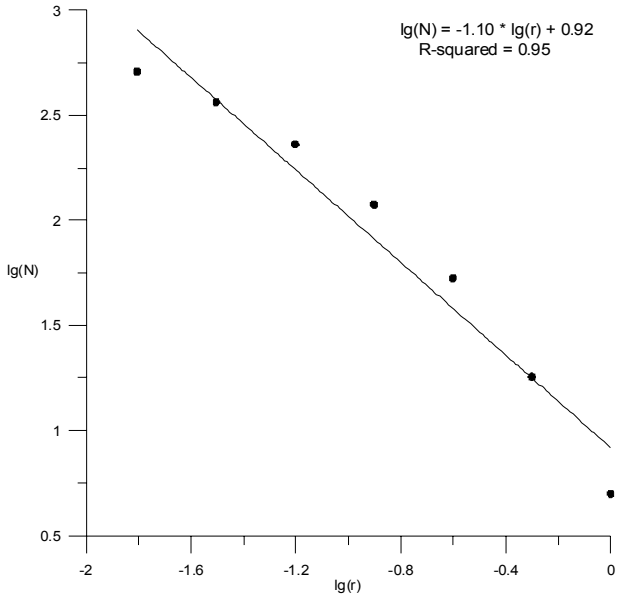



**Рис. 2.** Расчет фрактальной размерности распределения эпицентров землетрясений Абшерон-Прибалханской зоны (1963-2013 гг.)

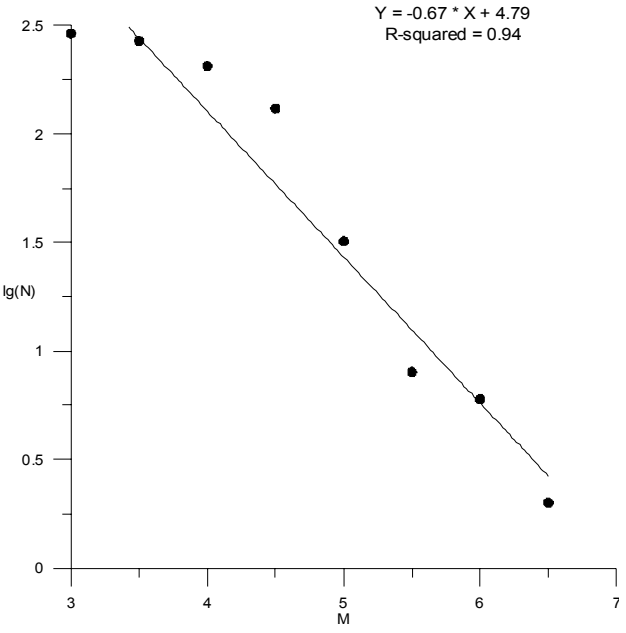



**Рис. 3.** График повторяемости землетрясений Абшерон-Прибалханской зоны (1963-2013 гг.)

В результате было определено соотношение Гутенберга-Рихтера (Gutenberg and Richter, 1944; Richter, 1958) для землетрясений Абшерон-Прибалханской сейсмической зоны:

$$\lg N = 4{,}79 - 0{,}67M$$

В предыдущих исследованиях была получена формула, по которой вычисляется показатель фрактальной размерности распределения землетрясений по энергиям: $d_E = b/\beta$ (Кадиров и др., 2011). Показатель b, определяемый из соотношения Гутенберга-Рихтера (в нашем случае b равен 0,67), выражает соотношение между числом больших и малых сейсмических событий. Среднее значение эмпирического коэффициента β, определяемого на основе формулы $\lg E = \alpha + \beta M$, составляет для Азербайджана 1,5 (Ризниченко, 1985). Следовательно, фрактальная размерность распределения землетрясений по энергиям для исследуемой Абшерон-Прибалханской зоны имеет значение $d_E = 0{,}67/1{,}5 = 0{,}45$.

В сейсмологии существует известное теоретическое соотношение D = 2b, которое связывает параметр b из закона Гутенберга-Рихтера и фрактальные размерности распределения землетрясений по эпицентрам и разломам (Kanamori, Anderson, 1975; Касахара, 1985; Захаров, 2008). Данное соотношение выполняется приближенно. Как известно, фрактальная размерность распределения по энергиям связана с параметром b формулой $d_E = b/\beta$, где среднее значение $\beta = 1{,}5$. Следовательно, можно записать зависимость фрактальных размерностей распределения по эпицентрам от фрактальной размерности распределения по энергиям следующим образом: $D = 3 * d_E$. Рассчитанные для Абшерон-Прибалханской зоны показатели фрактальных размерностей распределения землетрясений по эпицентрам и по энергиям $D_e$ и $d_E$ позволяют получить соотношение, которое несколько ниже теоретического, но тем не менее может быть принято как достоверное (1,10/0,45 = 2,44).

**Выводы.** Полученные результаты согласуются с предыдущими исследованиями сейсмичности Абшерон-Прибалханской зоны (Telesca et al., 2012). В частности, было выявлено, что данная область характеризуется большим количеством землетрясений по сравнению с другими областями Каспийского моря. Рассчитаны показатели повторяемости землетрясений и фрактальные размерности распределения землетрясений по энергиям и эпицентрам для Абшерон-Прибалханской зоны. Получена фрактальная размерность распределения эпицентров землетрясений Абшерон-Прибалханской зоны, которая составляет 1,10. Фрактальная размерность распределения землетрясений по энергиям для Абшерон-Прибалханской зоны принимает значение 0,45. Значение параметра b для всей Абшерон-Прибалханской зоны составляет 0,67. Принимая во внимание обратный характер связи между пара-

метром b, фрактальной размерностью распределения землетрясений по энергиям и накопленным тектоническим напряжением (Mogi, 1967, 2005; Manakou, Tsapanos, 2000; Pailoplee, Choowong, 2014), можно сделать вывод о достаточно высокой сейсмической опасности и потенциальных сейсмических рисках изучаемого региона.

Фрактальное соотношение $D_e/d_E$, полученное для землетрясений Абшерон-Прибалханской зоны, составляет 2,44, и оно достаточно близко к теоретическому коэффициенту.

**ЛИТЕРАТУРА**


АГАМИРЗОЕВ, Р.А. 1987. Сейсмотектоника азербайджанской части Большого Кавказа. Элм. Баку. 124 с.

АТЛАС ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В СССР. 1962. Изд-во АН СССР. Москва.

ГАДЖИЕВ, Р.М. 1965. Глубинное геологическое строение Азербайджана. Азербайджанское Гос. Издат. Баку. 200 с.

ГАСАНОВ, А.Г. 2003. Ощутимые землетрясения Азербайджана 1983-2002 гг. Элм. Баку. 129 с.

ЗАХАРОВ, В.С. 2008. Характеристики самоподобия сейсмичности и сетей активных разломов Евразии. Электронное научное издание "ГЕОразрез", 1, 20 с. http://www.georazrez.ru/articles/2008/1_1/zakharovkha_rakteristiki_samopodopiya_seysmichnosti.pdf

КАДИРОВ, Ф.А., КАРАГЕЗОВА, Н.Р., КАДЫРОВ, А.Г. 2011. Фрактальные характеристики сейсмичности территории Азербайджана. *Изв. НАН Азербайджана. Науки о Земле*, 1, 57-64.

КАСАХАРА, К. 1985. Механика землетрясений. Мир. Москва. 264 с.

КОНДОРСКАЯ, Н.В., ШЕБАЛИН, Н.В., ХРОМЕНЕЦКАЯ, Е.А. 1977. Новый каталог сильных землетрясений в СССР с древних времен до 1975 года. Наука. Москва. 535 с.

КРЫЛОВ, С.С., БОБРОВ, Н.Ю. 2004. Фракталы в геофизике. СПбГУ. Санкт-Петербург. 135 с.

МАНДЕЛЬБРОТ, Б. 2002. Фрактальная геометрия природы. 666 с.

РИЗНИЧЕНКО, Ю.В. 1985. Проблемы сейсмологии. Избранные труды. Наука. Москва.

ФЕДЕР, Е. 1991. Фракталы. Мир. Москва. 260 с.

ХАИН, В.Е., БОГДАНОВ, Н.А. (под ред.), 2003. Международная тектоническая карта Каспийского моря и его обрамления. М-б 1:2500000: Объяснительная записка. Научный мир. Москва. 120.

GUTENBERG, B., RICHTER, C. F. 1944. Frequency of earthquakes in California. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 34, 164-176.

KANAMORI, H., ANDERSON, D. 1975. Theoretical basis of some empirical relations in seismology. *Seis.Soc.Am.Bull.*, 65, 1073-1096.

MANAKOU, M., TSAPANOS, T. 2000. Seismicity and seismic hazard parameters evaluation in the island of Crete and the surrounding area inferred from mixed data files. *Tectonophysics*, 321, 157-178.

MOGI, K. 1967. Earthquakes and fractures. *Tectonophysics,* 5(35–55), 2005.

PAILOPLEE, S., CHOOWONG, M. 2014. Earthquake frequency-magnitude distribution and fractal dimension in mainland Southeast Asia. *Earth, Planets and Space,* 66:8. doi:10.1186/1880-5981-66-8.

RICHTER, C. 1958. Elementary seismology. Freeman. San Francisco. Calif. 768.

ROBERTSON, M.C., SAMMIS, C.G., SAHIMI, M., MARTIN, A.J. 1995. Fractal analysis of three dimensional spatial distributions of earthquakes with a percolation interpretation. *Journal of Geophysical Research*, 100, B1, 609-620.

TELESCA, L., BABAYEV, G., KADIROV, F. 2012. Temporal clustering of the seismicity of the Absheron-Prebalkhan region in the Caspian Sea area. *Natural Hazards and Earth System Science*, 12 (11), 3279-3285.

TURCOTTE, D.L. 1992. Fractals and chaos in geology and geophysics. Cambridge University press. Cambridge.

TURCOTTE, D.L. 1997. Fractals and chaos in geology and geophysics. Second edition. Cambridge University Press. Cambridge. 398 p.


***Рецензент: член-корреспондент НАН Азербайджана Г.И.Джалалов***

© Ю.Г.Исрафилов, В.Ю.Лаврушин, 2015

# ИЗОТОПЫ ГАЗОВ И ВОД ТЕРМОМИНЕРАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ АЗЕРБАЙДЖАНА И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

**Ю.Г.Исрафилов[1], В.Ю.Лаврушин[2]**

1 – *Институт геологии и геофизики НАН Азербайджана*
*AZ1143, Баку, просп. Г. Джавида, 119*

2 – *Геологический Институт РАН Российской Федерации*
*119017, Россия, г.Москва, Пыжевский пер., 7*

Формирование компонентного состава термоминеральных вод территории Азербайджанской республики происходит на фоне чрезвычайно контрастных геологических обстановок. Для выяснения генезиса газо-водной фазы терм водопроявлений Большого, Малого Кавказа и Талыша проведено исследование ее изотопного состава. Полученные результаты позволили оценить роль атмогенных, коровых и магматогенно-метаморфогенных компонентов в формировании газо-водной среды отдельных групп минеральных и термальных источников Азербайджана.

Данная статья написана по материалам совместных исследований отделов «Гидрогеологические и инженерно-геологические исследования» Института геологии и геофизики НАНА и «Массо-теплоперенос» Института геологии РАН. Все изотопные анализы вод и газов проведены в лабораториях ИГ РАН.

На территории Азербайджанской Республики встречаются практически все известные основные типы (по газовому составу) вод: азотные, метановые, сероводородные и углекислые. В их распределении отмечается определённая закономерность: источники с присутствием сероводородных газов локализуются преимущественно на южном склоне Большого Кавказа в местах выхода на поверхность сланцевых толщ ранней-средней юры. В прибортовых частях Южно-Каспийского бассейна, осложнённых со стороны Большого Кавказа системой надвиговых структур (Геология Азербайджана, 2008), встречаются минеральные источники исключительно метанового типа. В южных же районах Азербайджана располагаются области развития углекислых, преимущественно холодных, вод в пределах Малого Кавказа, а также азотных и азотно-метановых терм на Талыше (Исрафилов Ю. и Исрафилов Р., 2014).

Формирование компонентного состава термоминеральных вод происходит на фоне чрезвычайно контрастных геологических обстановок, влияние которых способно обеспечить присутствие в водах не только атмогенных и коровых, но и магматогенно-метаморфогенных компонентов. Для выяснения роли различных источников вещества в составе водной фазы, солевого и газового состава вод нами проводилось опробование термоминеральных водопроявлений Большого, Малого Кавказа и Талыша.

**Методы исследования.** Пробы воды для изотопных исследований фильтровались через фильтр 0,45μ и хранились без какой-либо консервации в холодильнике. Определения $\delta^{13}C$ в воднорастворенных формах $CO_2$, а также $\delta^{18}O$ и $\delta D$ в воде производились в Институте геологии РАН на масс-спектрометре DELTA$^{plus}$ фирмы ThermoQuest (Finnigan). Погрешность определений $\delta^{13}C$ и $\delta^{18}O$ была не более ±0,2‰, а $\delta D$ – ±2‰. Все значения $\delta^{13}C$ приводятся относительно стандарта V-PDB, а $\delta^{18}O$ и $\delta D$ – V-SMOW. Измерения температуры воды в полевых условиях выполнялись электронным термометром с погрешностью ±0,1°C.

## Результаты исследований

***Азотно-метановые термы*** Большого Кавказа характеризуются диапазонами значений $\delta^{18}O$ от -12,1 до +7,3‰ ($\delta^{18}O_{среднее}$= -8,6‰) и $\delta D$ – от -80 до -22‰ ($\delta D_{среднее}$= -61‰), а Талыша $\delta^{18}O$ – от -12,0 до -7,1‰ ($\delta^{18}O_{среднее}$= -10,2‰) и $\delta D$ – от -79 до -39‰ ($\delta D_{среднее}$= -64‰) соответственно. На первый взгляд воды этих двух районов различаются очень сильно как по диапазонам, так и по средним величинам $\delta^{18}O$ и $\delta D$. Однако если из общей выборки вод Большого Кавказа исключить ист. Гюгюм ($\delta^{18}O$ = +7,3 и $\delta D$ = -22‰), то средние значения для них будут такие же, как и для талышских терм. Также обращает на себя

внимание тот факт, что холодные источники Талыша (скв. Аркиван и Тахтанакеран) характеризуются более высокими значениями $\delta^{18}O$ и $\delta D$, чем термы (табл.1). Очевидно, различие изотопного состава вод связано с поступлением их из разных водоносных горизонтов – термальных и холодных (подчеркивает особенности их водного питания).

***Таблица 1***

Результаты изотопных определений $\delta^{13}C$ ($HCO^-_3$, $CO_2$ и $CH_4$) и $\delta^{18}O$, $\delta D$ (в $H_2O$) по данным опробования вод термоминеральных источников Азербайджана (И Ги Г НАНА совместно с ГИН РАН)

| № | Место отбора | Абс отм м. | $\delta^{13}C$ $HCO^-_3$ | $\delta^{18}O$ $H_2O$ | $\delta D$ $H_2O$ | $\delta^{13}C$ $CO_2$ | $\delta^{13}C$ $CH_4$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 1 | Ист. Готурсу | 716 | | | -56,5 | | |
| 2 | Гала-Алты, ист. | 780 | -0,8 | -9,9 | -62,9 | | |
| 3 | Исти-су, термальная скв.126 | 32 | | | -71,2 | -24,3 | -47,7 |
| 4 | Термальная скв. | 66 | | | -20,2 | | |
| 5 | Ист. Калейбугурт | 993 | 16,2 | -3,2 | -53,4 | -24,9 | -49,4 |
| 6 | Ист. Гюгюм | 892 | | | -20,2 | -28,6 | -68,5 |
| 7 | Ист. Гяндоб | 924 | | | -56,6 | | |
| 8 | Нефтчала, скв. 742, 930 м | -9 | | | -47,3 | -52,7 | -74,6 |
| 9 | Нефтчала, скв. 1533, 1850 м | -15 | | | -56,5 | -17,7 | -41,5 |
| 10 | Ист. Астара-истису | 35 | -16,4 | -9,5 | -68,1 | -23,5 | -57,4 |
| 11 | Скв. в с. Аркиван | -9 | | | -39 | -53,3 | -78,2 |
| 12 | Ист. Ибадысу | 84 | -18,2 | -12,0 | -78,7 | -16,3 | -44,1 |
| 13 | Ист. Истису-Масаллы | 133 | -11,3 | -10,0 | -68,4 | -24,4 | -47,3 |
| 14 | Ист. Дашкесан (нарзан) | 1505 | 9,2 | -11,2 | -77,3 | -2,8 | -48,4 |
| 15 | Ист. Аланханчаллы (нарзан) | 1665 | 9,5 | -9,8 | -63,6 | -3,5 | |
| 16 | Ист. Славянка | 1584 | 8,5 | -10,4 | -68 | -3,5 | |
| 17 | Ист. Захмет (нарзан) | 1249 | 8,1 | -10,9 | -77,3 | -2,1 | |
| 18 | с. Джафарджабарлы, скв. | 241 | | 0,5 | -40,4 | | |
| 19 | Ист. на запад. окраине г.Загатала | 279 | -8,5 | -10,8 | -65,9 | -23,8 | |
| 20 | Ист. Мохсу на р.Гурмухчай | 1216 | -4,6 | -9,6 | -57,8 | | |
| 21 | Ист. Нюснюс | 1347 | 9,1 | -10,4 | -67,5 | | |
| 22 | Ист. Гянза | 1367 | 9,8 | -10,9 | -72,4 | -0,3 | |
| 23 | Ист. Тиви, нарзан | 1619 | -5,0 | -10,6 | -65,1 | | |
| 24 | Ист. в левом борту р.Геленчай | 1360 | 10,9 | -10,5 | -72,2 | | |
| 25 | Дарыдаг, скв. | 950 | 7,9 | -7,0 | -41,3 | | |
| 26 | Ист. Локотак (Лагатак) | 1907 | 11,5 | -11,9 | -77,9 | -1,9 | |
| 27 | Ист. Гюлеймар | 1920 | 6,2 | -11,3 | -73,5 | -4,6 | |
| 28 | Ист. Агсал | 1615 | 10,8 | -11,4 | -82,3 | -2,5 | |
| 29 | Ист. Газанчи | 1322 | 8,2 | -10,5 | -78,5 | -1,7 | |
| 30 | Бадамлы, скв. | 1305 | 9,1 | -10,5 | -77,9 | -3,3 | |
| 31 | Ист. Гомюр | 1722 | 16,3 | -12,9 | -85,6 | -1,8 | |
| 32 | Ист. Джахни | 1219 | 8,0 | -10,5 | -75,5 | -1,7 | |
| 33 | Ист. Асхабукеф | 1114 | 16,6 | -12,5 | -86,6 | -1,5 | |
| 34 | Ист. Гюлюстан | 831 | 6,1 | -10,9 | -75,5 | | |
| 36 | Ист. Али-Маммед (Арвана) | 1253 | 0,3 | -13,0 | -84,9 | | |
| 37 | Скв. в р-не с.Нахадемир | 1257 | 7,3 | -8,0 | -66,7 | -2,8 | |
| 38 | Сираб, скв. в левом борту реки | 1163 | 9,4 | -10,5 | -79,1 | -2,7 | |
| 39 | с. Шахтахты, скв. | 891 | -5,0 | -12,4 | -81,5 | | |

| 1 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 40 | Истису (Хачмас) | 6 | | | -65,6 | | |
| 41 | р. Гырхбулаг | 996 | | | -55,6 | | |
| 42 | родник, $H_2S$ источник | 751 | | | -58,3 | | |
| 43 | Вода из р. Сирсаг в р-не ист. Гюгюм | 892 | | | -56,7 | | |
| 44 | р.Гирдыманчай (в р-не ист. Гондоп) | 924 | | | -54,1 | | |
| 45 | р.Астарачай | 35 | -10,8 | -6,5 | -36,5 | | |
| 46 | р.Кошкарчай | 746 | | | -50,8 | | |
| 47 | Речная вода в р-не ист. Дашкесан | 1505 | | | -48,6 | | |
| 48 | р. Ганыхчай | 1665 | | | -58,6 | | |
| 49 | Ручей выше ист. Славянка | 1584 | | | -51,3 | | |
| 50 | р. Шамкирчай | 1249 | -7,8 | -8,7 | -60,7 | | |
| 51 | Р. Гурмухчай | 1216 | | | -62 | | |
| 52 | р. Нюснюс | 1360 | | | -67,1 | | |
| 53 | р.Гянза | 1367 | 2,5 | -10,8 | -66,2 | | |
| 54 | р. Агдере | 1933 | -19,0 | -11,2 | -86,5 | | |
| 55 | Река в р-не с. Тиви | 1613 | | | -63,3 | | |
| 56 | р. Локотак | 1895 | | | -66,9 | | |
| 57 | р. Нахчыванчай | 1920 | | | -62,4 | | |
| 58 | Ручей в р-не ист. Агсал | 1610 | | | -62,9 | | |
| 59 | р. Алинджачай | 1320 | -3,3 | -10,2 | -67,5 | | |
| 60 | р. Гомюрсу | 1722 | | | -85,6 | | |
| 61 | р. Алинджачай | 830 | | | -60,8 | | |
| 62 | р. Нахчыванчай (выше г.Нахчыван) | 922 | -8,8 | -10,2 | -61 | | |
| 63 | Пресный ист., отлагающий травертин | 1320 | 1,3 | -12,2 | -79,2 | | |

На диаграмме $\delta^{18}O$ – $\delta D$ (рис.1) видно, что большинство фигуративных точек как углекислых, так и азотно-метановых вод группируются вдоль линии метеорных вод. При этом фигуративные точки минеральных источников локализуются примерно в той же области, что и поверхностные водотоки, опробованные вблизи выходов минеральных источников. Это указывает на доминирующую роль атмогенной составляющей в составе водной фазы большинства водопроявлений. Анализ зависимости δD-h (рис.2) позволяет оценить роль высотной изотопной зональности атмосферных осадков в формировании подземных вод горных областей. Признаки высотной зональности лучше всего прослеживаются для минеральных источников Большого Кавказа. Величина δD при изменении высотной отметки на 1 км снижается примерно на 20‰ (для величины $\delta^{18}O$ она оценивается ~2,5‰/км).

Стоит отметить, что аналогичные оценки величин высотных градиентов для δD и $\delta^{18}O$ были ранее получены для минеральных источников северного склона Большого Кавказа, для района Приэльбрусья (Дубинина и др., 2005).

Схожие оценки для высотной изотопной зональности могут быть получены и при анализе изотопного состава образцов воды из поверхностных водотоков. Все это, как и диаграмма $\delta^{18}O$ – δD, позволяет говорить об активном участии современных атмосферных вод в питании термоминеральных источников Большого Кавказа. Для остальных групп источников высотная зональность проявлена хуже. Тем не менее фигуративные точки источников северного склона Малого Кавказа и Нахчывана формируют с источниками Большого Кавказа единую группу (рис.2), что позволяет также предположить активное участие в их питании поверхностных вод.

Для источников Талыша обратная зависимость δD-h никак не проявляется. При этом только два пресных источника: Тахтанакеран и скв. в с. Аркиван располагаются вблизи линии δD-h, в то время как термальные водопроявления располагаются значительно левее пунктирной линии. Эти данные указывают на слабую взаимосвязь водного питания терм Талыша с местными водотоками. Можно предполагать, что в них разгружаются более древние воды, длительное время циркулирующие в толще

осадков, или область питания этих источников находится примерно на 1-1,4 км выше абсолютных отметок их выходов. Стоит отметить, что подобные же особенности водного питания можно предполагать и для некоторых углекислых источников Нахчывана, фигуративные точки которых сильно отклоняются влево от зависимости δD-h. Можно ожидать, что области питания этих водопроявлений находятся на 500-700 м выше очагов их разгрузки.

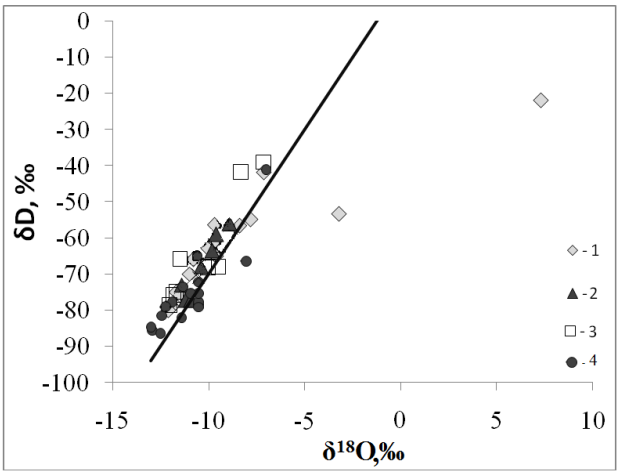



**Рис. 1.** Изотопный состав воды термоминеральных вод Большого, Малого Кавказа, Талыша и поверхностных водотоков.
Прямой линией обозначена линия метеорных вод (Крейга). 1 – Б.Кавказ ($N_2$+$CH_4$), 2 – М.Кавказ ($CO_2$), 3 – Талыш ($N_2$+$CH_4$) 4 – поверхностные водотоки

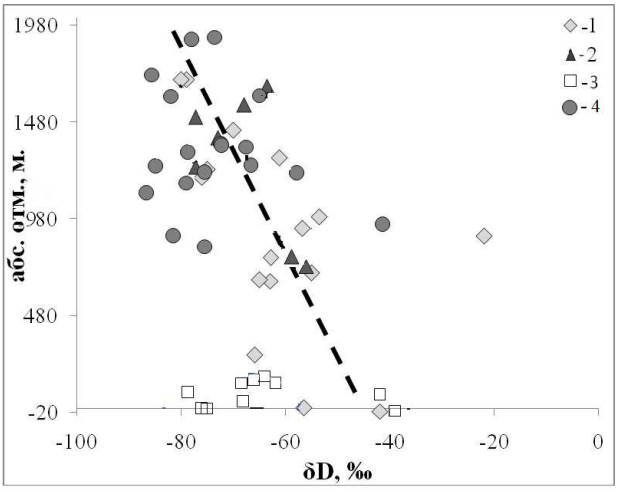



**Рис. 2.** Соотношение величины δD и абсолютных отметок отбора проб термоминеральных вод Большого, Малого Кавказа, Талыша и поверхностных водотоков.
Пунктирной линией показана тенденция взаимосвязи δD и h для минеральных источников Большого Кавказа. 1 – Б.Кавказ, 2 – М.Кавказ, 3 – Талыш, 4 – поверхностные водотоки

Представления о том, что изотопный состав воды терм Талыша характеризуется более низкими значениями $\delta^{18}O$ и δD, чем местные поверхностные воды подчёркивается сопоставлением их изотопных характеристик с химическим составом воды. Это также позволяет понять причины некоторого разброса величин $\delta^{18}O$ и δD, который мы наблюдаем в пределах отдельных групп источников (Лянкяранских и Масаллинских). Для них отмечается обратная корреляция величин δD (то же самое и для $\delta^{18}O$) с концентрацией ионов $SO^{2-}_4$ (рис.3). От общей зависимости отклоняются только фигуративные точки холодных минеральных источников (Тахтанакеран и скв. в с. Аркиван и Астара-истису). Еще лучше выражена обратная зависимость для фтора и прямая – для магния (рис.3). Также отмечается обратная зависимость величин δD и значений $Cl^-/Sr^{2+}$-коэффициента.

Из всех этих материалов следует, что, несмотря на пространственную разобщенность трех основных групп термальных водопроявлений (Астаринских, Лянкяранских и Масаллинских), в гидрохимическом плане они представляют собой довольно однородную систему вод относительно глубокой циркуляции, взаимодействующую с поверхностными (или грунтовыми) водами. Это приводит к заметным изменениям как их изотопного, так и химического состава. Подмешивание пресных холодных вод приводит к увеличению значений $\delta^{18}O$ и δD, снижению концентраций анионов $SO^{2-}_4$, $F^-$ и росту концентраций катионов $Mg^{2+}$ и $Sr^{2+}$ (отражается в снижении величин $Cl^-/Sr^{2+}$). Индикатором именно такой тенденции изменения солевого и изотопного состава термальных вод в процессе их взаимодействия с грунтовыми является ион $Mg^{2+}$ (в гидротермальных системах магний быстро выводится из раствора, фиксируясь в составе вторичных минералов – карбонатов и силикатов). Поэтому термальные воды, как правило, характеризуются минимальными концентрациями этого элемента. Таким образом, эти химические элементы могут в дальнейшем использоваться для изучения режима и характера взаимодействия термальных вод Талыша с холодными грунтовыми или поверхностными водами.

На диаграмме $\delta^{18}O$ – δD (рис.1) от линии метеорных вод сильно отклоняются только две фигуративные точки, соответствующие источникам Калейбугурт и Гюгюм (Большой Кавказ).

Их воды по своим изотопным характеристикам напоминают воды из термальных и нефтяных

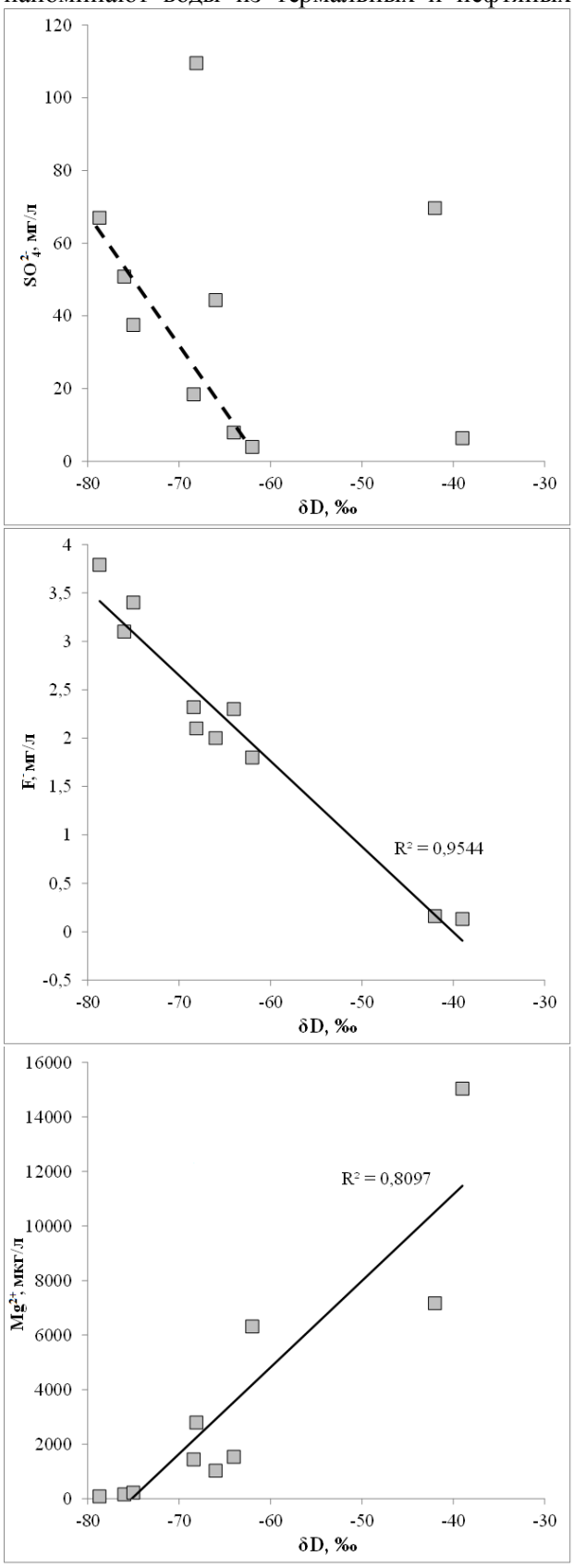



**Рис. 3.** Соотношение величин δD и отдельных характеристик солевого состава минеральных вод Талыша

скважин, для которых характерен так называемый «кислородный сдвиг». Отклонение фигуративных точек вод глубоких горизонтов по кислороду, как правило, связывается с их взаимодействием с породами (кислородным обменом с карбонатами и силикатами). Необходимо также отметить, что подобные эффекты также характерны и для вод грязевых вулканов Кавказского региона (Алиев, Кабулова, 1980; Лаврушин и др., 2005, 2012, 2013; Селецкий, 1991). Нельзя исключать, что формирование вод источников Калейбугурт и Гюгюм, как и в случае с грязевулканическими водами, может быть связано с комплексами майкопского возраста.

## Геохимические особенности свободных газов

В газах ***углекислых*** вод, естественно, доминирует углекислота, содержание которой варьирует от 71 до 99%. В виде примеси присутствует азот, в большинстве проб – в количестве от 2,7 до 10%. В отдельных водопроявлениях его концентрация может достигать 28 и 33% (ист. Бюлюдюл и Бадамлы). Во всех пробах идентифицируются низкие концентрации метана – от 0,0001 до 0,11%. Но при этом его фон на северном склоне Малого Кавказа заметно выше, чем на южном (в Нахчыване). Аналогичные закономерности характерны и для гелия – этот газ идентифицируется хроматографическим методом в диапазоне концентраций от 0,001 до 0,038% только в газопроявлениях северного склона Малого Кавказа.

В газах ***азотных и метановых*** терм Талыша и Большого Кавказа доминирует метан или азот. Из опробованных газирующих источников Большого Кавказа азотный состав ($N_2$ = 95,8%) был установлен только в ист. Джими. В составе остальных газопроявлений преобладал метан (85÷97,6%). В термах Талыша азот доминирует в источниках, локализующихся в районе Астары (ист. Астара-истису) и Лянкярана (ист. Хафтони, Газавуа, Ибадысу). Высокие концентрации метана (46÷93,7%) встречаются только в районе Масаллинских термальных водопроявлений. Углекислота имеет подчинённое значение, но в газах Большого Кавказа ее концентрация немного выше (0,5÷1,7%), чем на Талыше (0,01÷0,78%). Практически во всех азотно-метановых газопроявлениях гелий идентифицируется в довольно высоких концентрациях – от 0,016 до 0,18%. Также во многих пробах отмеча-

ется присутствие небольшой примеси водорода – 0,0013÷0,014%.

**Изотопные особенности углерода в углеродсодержащих соединениях**

***Азотно-метановые воды Талыша и Большого Кавказа***

*Изотопный состав углерода* $CH_4$ в большинстве газов Большого Кавказа меняется от -68,5 до -36,2‰. На этом фоне своими характеристиками резко выделяется изотопно-тяжелый метан источника Джими. Это же газопроявление характеризуется и минимальной (среди других газопроявлений Большого Кавказа) концентрацией метана в газовой фазе (1,03%).

В термах Талыша изотопный состав углерода метана меняется от -57,4 до -8,9‰. Максимальные значения наблюдаются в газах Лянкяранской группы источников (Хафтони – -8,9‰ и Газавуа – -15,6‰). Такой изотопно-тяжёлый метан, его ещё называют «термогенным», может формироваться в зоне повышенных температур, где активно реализуется процесс изотопного обмена с $CO_2$ или даже происходит синтез метана из оксидов углерода и водорода. Можно предположить, что высокие значения $\delta^{13}C(CH_4)$, как и в источнике Джими, могут объясняться окислением метана в приповерхностной зоне водоносных комплексов (или непосредственно в искусственных бассейнах бальнеолечебниц, питаемых источниками). В пользу такого предположения говорит соотношение величин $\delta^{13}C$ в метане и $CO_2$ источника Хафтони. В остальных термальных источниках Талыша значения $\delta^{13}C(CH_4) < -38‰$. Они соответствуют типичным значениям $\delta^{13}C(CH_4)$ термокаталитического метана нефтегазоносных залежей, формирующегося на различных стадиях катагенеза (при различных температурах).

Единственное из нетермальных газопроявлений Талыша (скв. в с. Аркиван) характеризуется очень низким значением $\delta^{13}C(CH_4) = -78,2‰$, указывающим на биогенную природу $CH_4$.

*Изотопный состав углерода $CO_2$ в газах азотно-метановых* терм меняется в источниках Большого Кавказа от -35,8 до -13,8‰, а Талыша – от -24,4 до -1,3‰. Еще более низкое значение $\delta^{13}C$ в $CO_2$ (-53,3‰) получено в скважине в с. Аркиван (предгорье Талыша), но это водогазопроявление в отличие от других источников Талыша характеризуется низкой температурой воды (16,5°C) и низкой минерализацией (0,28 г/л). Значения $\delta^{13}C$ в $CO_2$ увеличиваются синхронно с ростом значений $\delta^{13}C$ в $CH_4$ (рис.5-8). Подобная зависимость свидетельствует о наличии изотопного равновесия в системе $CO_2$-$CH_4$ и подчёркивает генетическую взаимосвязь этих газов в азотно-метановых газопроявлениях Азербайджана.

В газах Большого Кавказа и Талыша отмечаются принципиально различные тенденции взаимоотношений значений $\delta^{13}C$ в $CO_2$ с характеристиками газового состава (рис.4). Если в газах Большого Кавказа с ростом доли $CO_2$ в составе газов значения $\delta^{13}C$ в $CO_2$ возрастают, то в газах Талыша – напротив, снижаются, что, очевидно, объясняется различием в генезисе $CO_2$ в газах этих двух регионов. На Большом Кавказе рост концентрации $CO_2$ в газовой фазе связывается с поступлением изотопно-тяжёлой $CO_2$. Однозначно установить ее природу, исходя только из имеющихся данных, затруднительно. Теоретически она может представлять собой углекислоту, находящуюся в равновесии с карбонатами осадочного происхождения ($\delta^{13}C=0\pm2‰$) или выделяющуюся при их термическом разложении. Однако при этом необходимо учитывать, что в районах развития грязевого вулканизма, примыкающих с юга к горному сооружению Большого Кавказа, встречается $CO_2$ с ещё большими значениями $\delta^{13}C$ (+5 ÷ +23‰) (Валяев и др., 1985; Геология Азербайджана, 2008; Гулиев и др., 2001, 2013; Лаврушин и др., 2013; Фейзуллаев, Мовсумова, 2010). Природа такой углекислоты дискуссионна. Авторы этой работы связывают ее появление с процессами преобразования органического вещества в катагенезе глинистых пород, например, майкопской свиты Кавказского региона при температурах не более 120°C. Поэтому нельзя исключить, что наблюдаемый тренд взаимоотношения величин $\delta^{13}C$ в $CO_2$ и концентрации этого газа (рис.4) $^{13}C(CO_2)$-$CO_2$ объясняется притоком углекислоты, являющейся по генезису аналогом грязевулканической $CO_2$. Эта возможность вполне реально существует, поскольку геологическое строение южного склона Большого Кавказа сильно осложнено системой крупных надвигов, перекрывающих краевые части Куринской депрессии. Тренд (рис.4) $^{13}C(CO_2)$-$CO_2$, наблюдаемый в газах Талыша, объяснить намного проще – он может быть результатом подмешивания к газам углекислоты, образующейся в качестве побочного продукта в процессах метаногенерации (за счёт частичного окисления органики).

В пробах воды определён *изотопный состав углерода в растворенных формах углеки-*

*слоты*. Его определение было особенно актуально для характеристики растворенных форм углекислоты в негазирующих источниках, которые чаще всего встречаются на южном склоне Большого Кавказа. Величина $\delta^{13}C$ ($HCO^-_3$) в них меняется от -16,2 до +0,6‰. Минимальное значение отмечено в ист. Калейбугурт, а максимальные значения (+0,6 и -0,8‰) – в ист. Готурсу и Гала-алты соответственно. В последних источниках высокие значения $\delta^{13}C$ ($HCO^-_3$), вероятно, объясняются формированием вод в карбонатных массивах мелового возраста. В пределах Талыша значения $\delta^{13}C$ ($HCO^-_3$) меняются от -21,2 до -11,4‰. Минимальные значения $\delta^{13}C$ характерны для источников Лянкяранской, а максимальные – для Масаллинской групп.

На графике зависимости $\delta^{13}C$ ($CO_2$) от $\delta^{13}C$ ($HCO^-_3$) (рис. 5) на первый взгляд соотношения этих параметров для Большого Кавказа описываются прямой, а для газов Талыша – обратной зависимостью. На графике также показаны линии изотопных равновесий в системе $CO_2$ – $HCO^-_3$ при различных температурах. Мы обозначаем эту величину как $\delta^{13}C$ ($HCO^-_3$), т.к. при значениях pH, характерных для углекислых вод, основной формой водорастворенной $CO_2$ является ион $HCO^-_3$. Из этих построений вытекает, что для газов Большого Кавказа зависимость прямого характера действительно имеет место, т.к. все эти фигуративные точки располагаются на линии равновесия. Стоит отметить, что большинство фигуративных точек талышских терм также локализуется вблизи этих линий, отражающих температурные условия равновесной дегазации вод на поверхности земли. Дальше всего от линий равновесий располагаются пробы из ист. Ибадысу, Хафтони и Газавуа. Возможно, это является следствием специфических условий отбора – пробы из этих источников отбирались в бассейнах глубиной не менее 1,5 м, в которых отмечалось очень слабое газоотделение. Можно предположить, что в этих источниках дегазация $CO_2$ происходит по неравновесному механизму. Отсутствие изотопного равновесия отмечается и для пресной воды из скважины в с. Аркиван, бурно газирующей метаном.

Сопоставление значений $\delta^{13}C$ ($HCO^-_3$) с концентрацией $SO^{2-}_4$ -иона в водах Талыша выявляет обратную зависимость этих параметров. Вероятно, это указывает на генетическую связь низких значений $\delta^{13}C$ ($HCO^-_3$) с процессом сульфатредукции (рис. 6).

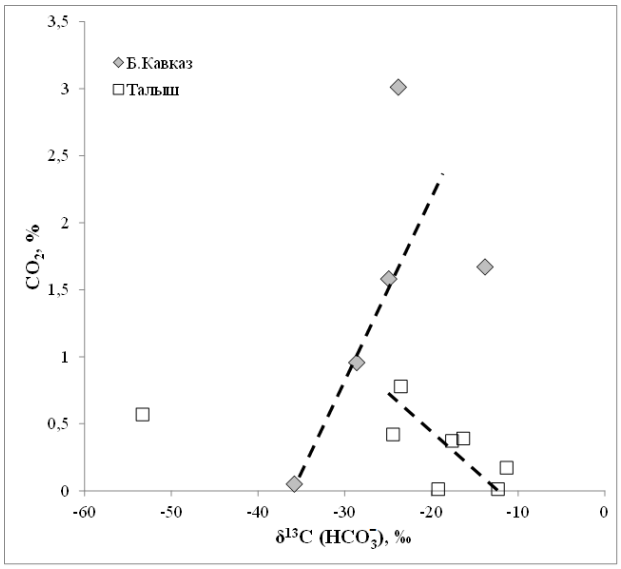



**Рис. 4.** Соотношение величины $\delta^{13}C$ и концентрации $CO_2$ в газах азотно-метановых термоминеральных источников Большого Кавказа и Талыша.
Пунктирными линиями показаны тенденции взаимоотношений параметров для источников этих районов

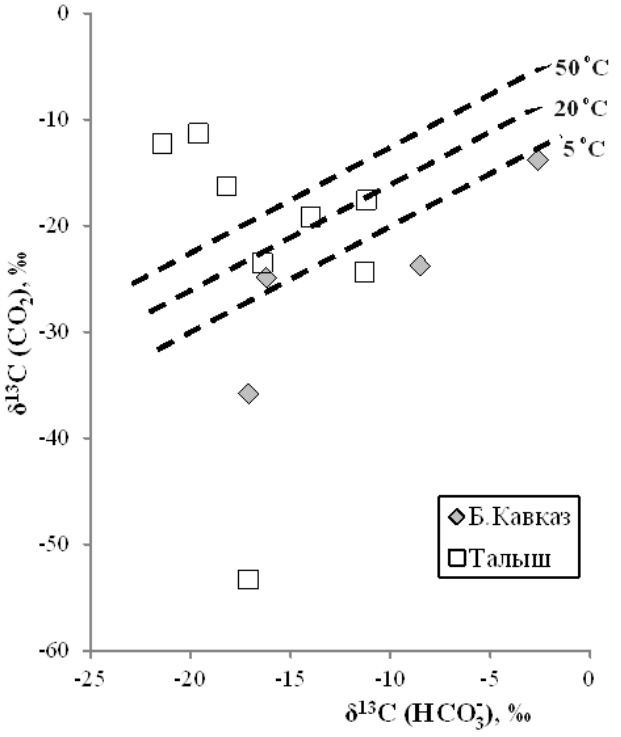



**Рис. 5.** Соотношение величин $\delta^{13}C$ в газообразной и растворенной углекислоте азотно-метановых вод Большого Кавказа и Талыша.
Пунктирные линии – линии изотопного равновесия для системы $CO_2$(газ) – $HCO^-_3$ при разных температурах

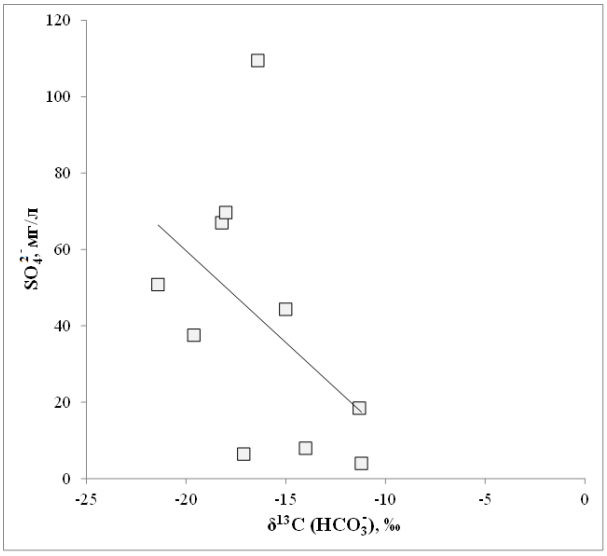



**Рис. 6.** Соотношение значений $\delta^{13}C$ ($HCO^-_3$) и концентрации сульфат-иона в термоминеральных водах Талыша

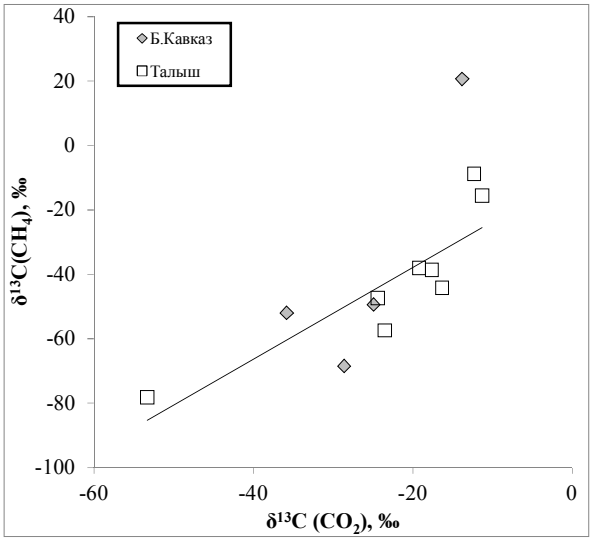



**Рис. 7.** Соотношение величин $\delta^{13}C$ в $CO_2$и $CH_4$ в газах азотно-метановых терм Азербайджана.
Прямой линией показан тренд для вод Талыша

В целом, полученные материалы по изотопии углерода $CH_4$ и $CO_2$ показывают, что в азотно-метановых источниках Большого Кавказа и Талыша углекислота имеет смешанный генезис – вероятнее всего, представляет собой смесь метаморфогенной и биогенной углекислоты (последняя формируется в результате окисления органических соединений). Причём максимальная доля $CO_2$ данного генезиса отмечается в наиболее пресных и холодных водопроявлениях – скв. в с. Аркиван, ист. Шир-Шир. В этих же водопроявлениях отмечается и присутствие изотопно-легкого метана микробиального происхождения. В остальных источниках в большинстве случаев отмечается присутствие метана термокаталитического происхождения (аналога метана месторождений нефти и газа). Редко встречается изотопно-тяжелый метан, появление которого связывается с процессами окисления этого газа в циркуляционных системах подземных вод или непосредственно в очагах их разгрузки (в том случае, когда они оформлены в виде вместительного бассейна).

### Углекислые воды Малого Кавказа

*Изотопный состав углерода метана* удалось определить только в одном углекислом водопроявлении (ист. Дашкесан), и он характеризуется величиной $\delta^{13}C$ (-48,4 ‰), характерной для метана зоны раннего катагенеза.

***Изотопный состав углерода $CO_2$*** в газах северного и южного склонов Малого Кавказа меняется в близком интервале значений: от -3,5 до -2,1‰ ($\delta^{13}C_{среднее}$= -3,0‰) на северном склоне и от -4,6 до -0,3‰ ($\delta^{13}C_{среднее}$= -2,3‰) в Нахчыване. Из этих данных следует, что по своим изотопным характеристикам углекислота Малого Кавказа близка мантийной $CO_2$, которой приписывается диапазон значений от -8 до -3‰. В то же время более высокие значения $\delta^{13}C$ могут указывать на участие в формировании углекислых газов Малого Кавказа $CO_2$ осадочного генезиса. Последняя может выделяться при термическом разложении карбонатов в зонах магматогенных термоаномалий, связанных с внедрениями силикатного расплава в верхнюю часть коры.

В пределах Талыша также был определён изотопный состав углерода $CO_2$ в *углекислом* источнике Бюлюдюл. По своим изотопным характеристикам его углекислота занимает промежуточное положение между $CO_2$ азотно-метановых терм этого района и $CO_2$ Малого Кавказа. Его газы характеризуются значениями $\delta^{13}C$ ($CO_2$) = -8,0 и -8,7‰ (в разных выходах источника). Учитывая геологическое положение этого источника, можно предположить сложный механизм формирования углекислоты этого водопроявления. Теоретически она может представлять собой смесь вулканогенно-метаморфогенной углекислоты, выделяющейся в зонах вулканогенных термоаномалий (как на Малом Кавказе), и «биогенной» $CO_2$, образующейся за счёт окисления органических соединений (как на Талыше). Возможно также, что снижение величин

$\delta^{13}C$ ($CO_2$), локализующихся на периферии близко расположенного вулканического нагорья, связано с изменением литологического состава водовмещающих пород. Например, аналогичное снижение величин $\delta^{13}C$ ($CO_2$) до -8 ÷ -11‰ было отмечено ранее для углекислых газов Главного хребта Большого Кавказа (Лаврушин, 2012). Эти изменения совпали со сменой типа водовмещающих пород – переходом от гранитогнейсов палеозойского возраста к сланцевым комплексам ранней-средней юры.

*По изотопному составу водорастворенных форм углерода* углекислые воды Азербайджана резко контрастируют с азотно-метановыми водопроявлениями, для последних характерны отрицательные значения $\delta^{13}C$. В газах северного и южного склонов Малого Кавказа, несмотря на сильное различие диапазонов вариаций $\delta^{13}C(HCO^-_3)$ (на северном склоне от +6,1 до +9,5‰, а в Нахчыване – от -5,0 до +16,6‰), по величине средних значений они практически не различаются $\delta^{13}C_{среднее}$ = +8,1 и +7,0‰ соответственно.

Величина $\delta^{13}C(HCO^-_3)$ находится в прямой зависимости от изотопного состава углерода в $CO_2$ (рис.4). При этом только часть фигуративных точек локализуется вблизи линии изотопного равновесия для системы $HCO^-_3$-$CO_2$ при t=5°C, что подчеркивает низкотемпературные условия дегазации вод при нормальном давлении. Остальные точки формируют хорошо выраженный тренд, сильно отклоняющийся вправо за счет утяжеления изотопного состава углерода водорастворенных форм углекислоты. Наличие подобного тренда можно объяснить дегазацией вод, пересыщенных углекислотой – отделение от раствора больших количеств $CO_2$ приводит к заметному изотопному утяжелению оставшейся в растворе углекислоты.

## Выводы

– Анализ зависимости δD-h (рис.2) позволяет оценить роль высотной изотопной зональности атмосферных осадков в формировании подземных вод горных областей. Величина δD источников Большого и Малого Кавказа при изменении высотной отметки на 1 км снижается примерно на 20‰ (для величины $\delta^{18}O$ она оценивается ~2,5‰/км). В то же время отмечается слабая взаимосвязь водного питания терм Талыша с местными водотоками. Можно предполагать, что в них разгружаются более древние воды, длительное время циркулирующие в толще осадков, или область питания этих источников находится примерно на 1-1,4 км выше абсолютных отметок их выходов.

– Подмешивание пресных холодных вод приводит к увеличению значений $\delta^{18}O$ и δD, снижению концентраций анионов $SO^{2-}_4$, $F^-$ и росту концентраций катионов $Mg^{2+}$ и $Sr^{2+}$ (отражается в снижении величин $Cl^-/Sr^{2+}$). Индикатором такой тенденции изменения солевого и изотопного состава термальных вод в процессе их взаимодействия с грунтовыми является ион $Mg^{2+}$ (в гидротермальных системах магний быстро выводится из раствора, фиксируясь в составе вторичных минералов – карбонатов и силикатов). Поэтому термальные воды, как правило, характеризуются минимальными концентрациями этого элемента.

– В газах углекислых вод в виде примеси присутствует азот в количестве от 2,7 до 33%. Во всех пробах идентифицируются низкие концентрации метана – от 0,0001 до 0,11 %.

– В термах Талыша изотопный состав углерода метана меняется от -57,4 до -8,9‰. Максимальные значения наблюдаются в газах Лянкяранской группы источников (Хафтони – -8,9‰ и Газавуа – -15,6‰). Такой изотопно-тяжёлый метан может формироваться в зоне повышенных температур, где активно реализуется процесс изотопного обмена с $CO_2$ или даже происходит синтез метана из оксидов углерода и водорода. В остальных термальных источниках Талыша значения $\delta^{13}C(CH_4)$ < -38‰. Они соответствуют типичным значениям $\delta^{13}C(CH_4)$ термокаталитического метана нефтегазоносных залежей, формирующегося на различных стадиях катагенеза (при различных температурах).

– В газах Большого Кавказа с ростом доли $CO_2$ в составе газов значения $\delta^{13}C$ в $CO_2$ возрастают, а в газах Талыша – напротив, снижаются. Это подчёркивает различие в генезисе $CO_2$ в газах этих двух регионов. На Большом Кавказе рост концентрации $CO_2$ в газовой фазе связывается с поступлением изотопно-тяжёлой $CO_2$. Теоретически она может представлять собой углекислоту, находящуюся в равновесии с карбонатами осадочного происхождения ($\delta^{13}C$ = 0±2‰) или выделяющуюся при их термическом разложении.

– Изотопы углерода $CH_4$ и $CO_2$ показывают, что в азотно-метановых источниках Большого Кавказа и Талыша углекислота характеризуется смешанным генезисом – вероятнее всего,

представляет собой смесь метаморфогенной и биогенной углекислоты (последняя формируется в результате окисления органических соединений). Причём максимальная доля $CO_2$ данного генезиса отмечается в наиболее пресных и холодных водах. В этих же водопроявлениях отмечается и присутствие изотопно-легкого метана микробиального происхождения.

– По изотопным характеристикам углекислота Малого Кавказа близка мантийной $CO_2$, которой приписывается диапазон значений от -8 до -3‰. В то же время более высокие значения $\delta^{13}C$ могут указывать на участие в формировании углекислых газов Малого Кавказа $CO_2$ осадочного генезиса. Последняя может выделяться при термическом разложении карбонатов в зонах магматогенных термоаномалий, связанных с внедрениями силикатного расплава в верхнюю часть коры.

Лабораторные исследования проведены при финансовой поддержке РФФИ, проект № 14-05-00967-а

**ЛИТЕРАТУРА**

АЛИЕВ, Ад.А., КАБУЛОВА, А.Я. 1980. Изотопы гелия в газах грязевых вулканов Азербайджана. *Докл. АН Азерб. ССР*, 363, 52-56.

ВАЛЯЕВ, Б.М., ГРИНЧЕНКО, Ю.И., ЕРОХИН, В.Е., ПРОХОРОВ, В.С., ТИТКОВ, Г.А. 1985. Изотопный облик газов грязевых вулканов. *Литология и полезные ископаемые,* 1, 72-87.

ГЕОЛОГИЯ АЗЕРБАЙДЖАНА. 2008. T.VII – Нефть и газ. Nafta-Press. Баку. 672 с.

ГУЛИЕВ, И.С., ФЕЙЗУЛЛАЕВ, А.А., ГУСЕЙНОВ, Д.А. 2001. Изотопный состав углерода углеводородных флюидов Южно-Каспийской мегавпадины, *Геохимия*, 3, 271-278.

ГУЛИЕВ, И.С., ДАДАШЕВ, Ф.Г., ПОЛЕТАЕВ, А.В. 2013. Изотопы углеводородных газов Азербайджана. Нафта-Пресс. Баку. 106 с.

ДУБИНИНА, Е.О., ЛАВРУШИН, В.Ю., КОВАЛЕНКЕР, В.А., АВДЕЕНКО, А.С. СТЕПАНЕЦ, М.И. 2005. Изотопы кислорода и водорода в минеральных источниках Приэльбрусья, *Геохимия*, 10, 1078-1089.

ИСРАФИЛОВ, Ю.Г., ИСРАФИЛОВ, Р.Г. 2014. К вопросу генезиса термальных вод Азербайджана. *Изв. НАН Азербайджана. Науки о Земле,* 1-2, 58-64.

ЛАВРУШИН, В.Ю., ДУБИНИНА, Е.О., АВДЕЕНКО, А.С. 2005. Изотопный состав кислорода и водорода вод грязевых вулканов Тамани (Россия) и Кахетии (Восточная Грузия), *Литология и полезные ископаемые*, 2, 143-158.

ЛАВРУШИН, В.Ю. 2012. Подземные флюиды Большого Кавказа и его обрамления. *Труды ГИН РАН, 599,* Москва. 348.

ЛАВРУШИН, В.Ю., ГУЛИЕВ, И.С., КИКВАДЗЕ, О.Е., АЛИЕВ, Ад. А., ПОЛЯК, Б.Г., ПОКРОВСКИЙ, Б.Г. 2013. Воды грязевых вулканов Азербайджана: изотопно-химические особенности и условия формирования. *Литология и полезные ископаемые*, 1.

СЕЛЕЦКИЙ, Ю.Б. 1991. Дейтерий и кислород-18 в проблеме формирования вод грязевых вулканов. *Известия АН СССР. Серия Геология*, 5, 133-138.

ФЕЙЗУЛЛАЕВ, А.А., МОВСУМОВА, У.А. 2010**.** Природа изотопно- тяжелого углерода углекислого газа и бикарбонатов вод грязевых вулканов Азербайджана. *Геохимия,* 5, 1-6.

***Рецензент: член-корреспондент НАН Азербайджана А.А.Фейзуллаев***

© Q.İ.Calalov, B.X.Feyzullayev, 2015

# LAY TƏZYİQİ NEFTİN QAZLADOYMA TƏZYİQİNDƏN AŞAĞI OLAN YATAQLARIN İŞLƏNİLMƏSİ PROSESİNDƏ TEMPERATUR SAHƏSİNİN TƏYİNİ

**Q.İ.Calalov, B.X.Feyzullayev**

*Azərbaycan MEA Geologiya və Geofizika İnstitutu*
*AZ1143, Bakı, H.Cavid prospekti, 119*

Məqalədə keçiriciliyə görə qeyri-bircins layda qazlı mayenin quyuya fəza süzülməsi şəraitində temperatur sahəsinin təyini məsələsi həll edilmişdir. Uyğun alqoritm və ədədi hesablama sxemi işlənmiş və konkret misal əsasında çoxvariantlı riyazi eksperimentlər aparılmışdır. Alınmış nəticələr termohidrodinamik effektlər nəzərə alınmaqla qazlı mayenin layda fəza süzülməsi zamanı temperatur sahəsinin formalaşmasına dair mövcud məlumatları tamamlayır və quyu məlumatlarının interpretasiyasının etibarlılığının və dəqiqliyinin artırılması üçün istifadə oluna bilər.

Məsaməli mühitdə flüidlərin süzülməsi şəraitində termodinamik effektləri nəzərə almaqla temperatur sahələrinin təyini istiqamətində ilk tədqiqatlar B.B.Lapuk tərəfindən yerinə yetirilmişdir.

E.B.Çekalyuk neft laylarında temperatur hadisələrinin nəzəri və eksperimental üsullarla daha dərindən öyrənilməsinə bir sıra tədqiqat işləri həsr etmişdir, ilk dəfə olaraq termodinamik effektləri nəzərə almaqla məsaməli mühitdə sıxılan mayenin axını üçün enerjinin saxlanması tənliyini almışdır ki, bu da quyuların termometriyası nəzəriyyəsində bütün gələcək tədqiqatların əsasını qoymuşdur.

Quyunun termometriyası nəzəriyyəsində əsas məqsəd verilən istismar rejimində layda flüidin süzülməsi zamanı temperatur sahəsinin təyini və bunun əsasında layların istismarı xarakteristikalarının qiymətləndirilməsinin mümkünlüyündən ibarətdir.

Bu istiqamətdə çoxlu sayda tədqiqat işləri aparılmışdır ki, onlar haqqında müfəssəl icmal analizi (Абасов и др., 1993; Алишаев и др., 1985; Вахитов и др., 1984; Карачинский, 1975; Рамазанов, 2004; Рамазанов, Паршин, 2006; Филиппов, Филиппов, 2002; Филиппов, Ахметова, 2011; Чекалюк, 1965) işlərində öz əksini tapmışdır.

Qeyd edilənlərə əsasən, demək olar ki, neft yataqlarına tətbiqində termohidrodinamiki üsulların nəzəri əsaslarının inkişafına və təkmilləşdirilməsinə praktikada real zərurət yaranmışdır.

Məqalədə lay təzyiqi neftin qazladoyma təzyiqindən aşağı olan yataqların işlənilməsi prosesində Coul-Tomson effekti ilə yaranan temperatur sahəsinin təyini məsələsi tədqiq edilmişdir.

## Məsələnin qoyuluşu

Fərz edək ki, keçiriciliyə görə qeyri-bircins $R_k$ radiuslu silindrik formalı kürəvi lay $R_q$ radiuslu mərkəzi quyu ilə istismar olunur. Layın işlənilmədən əvvəl başlanğıc təzyiqi, temperaturu və neftlədoyumu uyğun olaraq $p_0$, $T_0$ və $s_0$-dır. Qəbul olunur ki:

– istismarın ilk anından quyu gövdəsində ortalama təzyiq ani olaraq $p_q$-yə qədər azalır, sonradan istismar prosesində sabit qalır;

– quyu açılma dərəcəsinə, xarakterinə nəzərən tamdır və kifayət qədər böyük uzunluğa malik horizontal layın tam qalınlığını əhatə edir;

– qazlı mayenin süzülməsi Darsi qanununa tabedir;

– layın tavanı və dabanı keçilməzdir;

– lay boyunca başlanğıc təbii temperatur paylanması sabitdir;

– flüidin və məsaməli mühitin temperaturu layın istənilən nöqtəsində eynidir;

– konvektiv istilikötürmə ilə müqayisədə layın radial istiqamətdə istilik keçirməsi nəzərə alınmır;

– layda temperatur dəyişməsinin lay və mayeni xarakterizə edən parametrlərə təsiri nəzərə alınmır.

Qəbul edilmiş fərziyyələr əsasında qoyulmuş məsələnin həlli aşağıdakı qeyri-xətti xüsusi törəməli diferensial tənliklər sisteminin verilmiş şərtlər daxilində həllinə gətirilir (Алишаев и др., 1985; Вахитов и др., 1984; Карачинский, 1975; Рамазанов, 2004; Рамазанов, Паршин, 2006; Филиппов, Филиппов, 2002; Филиппов, Ахметова, 2011):

$$\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left[k(r,z)\psi(s,p)r\frac{\partial p}{\partial r}\right]+ \\ +\frac{\partial}{\partial z}\left[k(r,z)\psi(s,p)\frac{\partial p}{\partial z}\right]=\frac{\partial\Phi(s,p)}{\partial t}, \quad (1)$$

$$\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left[k(r,z)\varphi(s,p)r\frac{\partial p}{\partial r}\right]+ \\ +\frac{\partial}{\partial z}\left[k(r,z)\varphi(s,p)\frac{\partial p}{\partial z}\right]=\frac{\partial\varepsilon(s,p)}{\partial t}, \quad (2)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t}+\sum_{i=1}^{2}\frac{c_i\rho_i v_i}{c_1}\frac{\partial T}{\partial r}+ \\ +\sum_{i=1}^{2}\frac{c_i\rho_i v_i\varepsilon_i}{c_1}\frac{\partial P}{\partial r}=\chi_T\frac{\partial^2 T}{\partial z^2}, \quad i=1,2 \quad (3)$$

$$p(r,z,t)\big|_{t=0}=p_0, \quad s(r,z,t)\big|_{t=0}=s_0 \quad (4)$$

$$p(r,z,t)\big|_{r=R_q}=p_q, \quad (5)$$

$$\left.\frac{\partial p(r,z,t)}{\partial r}\right|_{r=R_k}=0, \quad \left.\frac{\partial s(r,z,t)}{\partial r}\right|_{r=R_k}=0, \quad (6)$$

$$\left.\frac{\partial p(r,z,t)}{\partial z}\right|_{z=0}=0, \quad \left.\frac{\partial p(r,z,t)}{\partial z}\right|_{z=H}=0, \quad (7)$$

$$T(r,z,t)\big|_{t=0}=T_0, \quad (8)$$

$$T(r,z,t)\big|_{r=R_k}=T_0, \quad (9)$$

$$\left.\frac{\partial T(r,z,t)}{\partial z}\right|_{z=0}=0, \quad \left.\frac{\partial T(r,z,t)}{\partial z}\right|_{z=H}=0, \quad (10)$$

burada

$$\left.\begin{aligned}\psi(s,p)&=\left[\frac{c(p)F_{\text{q}}(s)}{\mu_{\text{q}}(p)}+\frac{S_k(p)}{\beta(p)}\frac{F_{\text{n}}(s)}{\mu_{\text{n}}(p)}\right];\\ \Phi(s,p)&=m\left[c(p)(1-s)+\frac{sS_k(p)}{\beta(p)}\right];\\ \varphi(p,s)&=\frac{F_{\text{n}}(s)}{\mu_{\text{n}}(p)\beta(p)}; \quad \varepsilon(p,s)=\frac{m\cdot s}{\beta(p)}\end{aligned}\right\};$$

$F_q(s)$ – qaza görə nisbi faza keçiriciliyi; $F_q(s)$ – neftə görə nisbi faza keçiriciliyi; $s$ – süxurun neftə nəzərən doyma əmsalı; $k(r,z)$ – süxurun keçiriciliyi; $p$ – təzyiq; $\mu_q(p)$ – qazın özlülüyü; $\mu_n(p)$ – neftin özlülüyü; $S(p)$ – neftin vahid həcmində həll olmuş qazın çəkisi; $c(p)$ – qazın xüsusi çəkisi; $m$ – layın məsaməliyi; $\beta(p)$ – neftin həcmi əmsalı; $T$ – temperatur; $c_i$ – xüsusi istilik tutumu; $\varepsilon_i$ – Coul-Tomson əmsalı; $v_i$ – konvektiv istilikötürmə sürəti; $\chi_T=\frac{\lambda_l}{c_l}$ – layın temperaturkeçirmə əmsalı; $\rho_i$ – sıxlıq; $i=1$ – neftə aid olunan indeks; $i=2$ – qaza aid olunan indeks; $c_l=(1-m)\rho_s c_s+m\rho_1 c_1$ – maye ilə doymuş layın həcmi istilik tutumu; $(r,z)$ – radial-silindrik koordinat oxları; $t$ – zaman.

(1)-(10) termohidrodinamiki məsələsinin həlli üçün təzyiq funksiyasına nəzərən qeyri-aşkar, doyma və temperatur funksiyalarına nəzərən isə aşkar sxemdən istifadə edilmişdir. Temperatur və doyma funksiyaları üzrə zaman addımlarının kiçikliyini nəzərə alaraq aşkar sxemin dayanıqlığının Kurant növlü şərti tədqiq edilmişdir (Азиз, Сеттари, 1982; Фейзуллаев, 2011).

Neft hasilatı və qaz amili uyğun olaraq aşağıdakı ifadələrdən təyin edilmişdir (Абасов и др., 1993):

$$q=\frac{2\pi hk(z)}{\ln\frac{R_k}{R_q}}\int_{p_q}^{p_k}\frac{F_{\text{n}}(s)}{\mu_n(p)a(p)}dp\approx \\ \approx\frac{\pi hk(z)}{\ln\frac{R_k}{R_q}}\left(\frac{F_{\text{n}}(s_q)}{\mu_n(p_q)a(p_q)}+\frac{F_{\text{n}}(s_k)}{\mu_n(p_k)a(p_k)}\right)(p_k-p_q), \quad (11)$$

$$Q_a=\frac{293}{273+T_q}p_q a(p_q)\frac{F_{\text{q}}(s_q)}{F_{\text{n}}(s_q)}\frac{\mu_{\text{n}}(p_q)}{\mu_{\text{q}}(p_q)}+S_k(p_q). \quad (12)$$

Yuxarıda verilmiş alqoritm üzrə $k(r,z)=k_0e^{z/H}$ qəbul etməklə (Абасов и др., 1993), aşağıda verilən ilkin məlumatlar əsasında (cədvəl) ədədi eksperimentlər aparılmışdır.

| Fiziki kəmiyyətlər | Ölçü vahidləri | Ədədi qiymətləri |
|---|---|---|
| $T_0$ | °C | 65 |
| $p_k$ | Pa | 33030000 |
| $p_q$ | Pa | 13400000 |
| $m_0$ | | 0.174 |
| $R_k$ | m | 2000 |
| $H$ | m | 86.2 |
| $R_q$ | m | 0.2159 |
| $\lambda_T$ | C·m$^2$/(kq·san·°C) | 2.28 |
| $c_l$ | C/(kq·°C) | 1800 |
| $c_n$ | C/(kq·°C) | 1880 |
| $c_q$ | C/(kq·°C) | 3200 |
| $\varepsilon_n$ | °C/Pa | 0.0000004 |
| $\varepsilon_q$ | °C/Pa | -0.00003 |
| $k_0$ | m$^2$ | $0{,}1\cdot10^{-12}$ |
| $\rho_n$ | kq/m$^3$ | 691,997 |
| $\rho_q$ | kq/m$^3$ | 230,666 |
| $\rho_s$ | kq/m$^3$ | 2200 |

$F_q(s) = (1-s)^2$, $F_n(s) = s^2$

$$c(p) = -0.000000000415 \cdot p^3 + 0.00000638361 \cdot p^2 - $$
$$- 0.00173922989 \cdot p + 0.9938172,$$
$$S(p) = -0.0000000031\,070352 \cdot p^4 +$$
$$+ 0.0000028360\,860274 \cdot p^3 -$$
$$- 0.0006460824\,984911 \cdot p^2 +$$
$$+ 0.5043362887\,93717 \cdot p -$$
$$- 0.1323882374\,036190,$$

$$\beta(p) = -0.0000000000459633 \cdot p^4 +$$
$$+ 0.000000038725738 \cdot p^3 -$$
$$- 0.0000108535953729 \cdot p^2 +$$
$$+ 0.0022735273969246 \cdot p + 1.00302346143653,$$

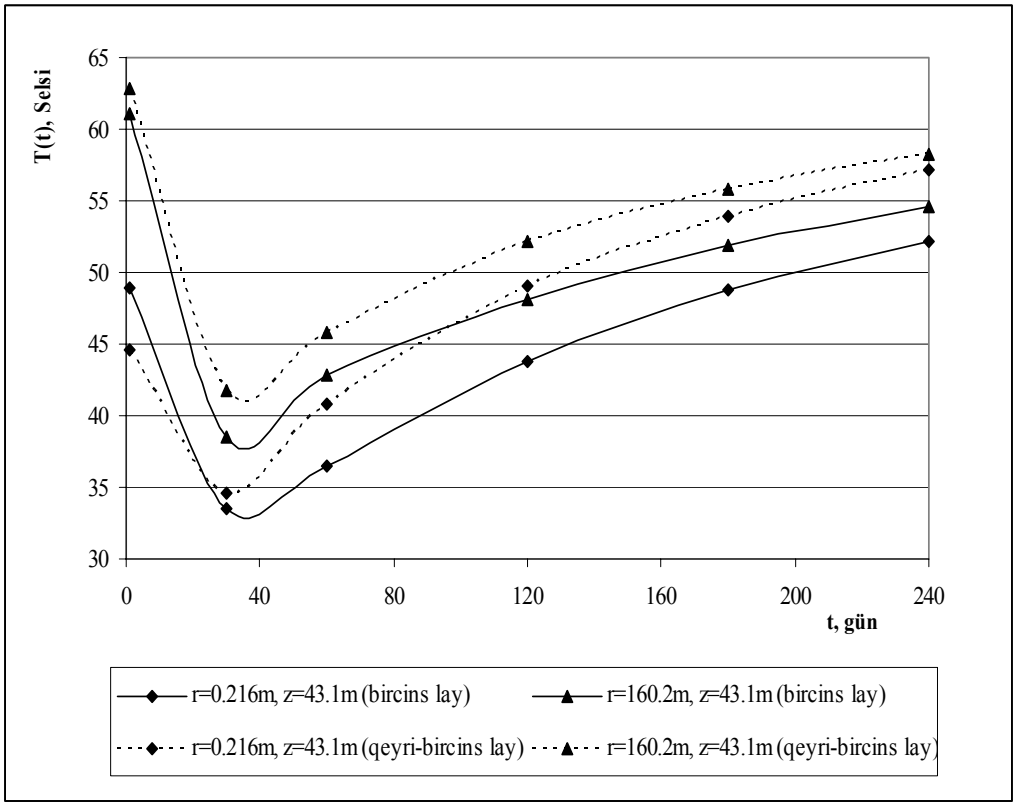
$$\mu_n(p) = (0.00000000021063375 \cdot p^4 -$$
$$- 0.00000019042759404 \cdot p^3 +$$
$$+ 0.00006869519617624 \cdot p^2 -$$
$$- 0.014448874672876 \cdot p +$$
$$+ 2.25106443446485) \cdot 10^{-3} (Pa \cdot san),$$

$$\mu_q(p) = (0.0000000000023771 \cdot p^4 +$$
$$+ 0.0000000017108129 \cdot p^3 -$$
$$- 0.0000002822848785 \cdot p^2 +$$
$$+ 0.0000545265482141 \cdot p +$$
$$+ 0.0105779247947167) \cdot 10^{-3} (Pa \cdot san).$$

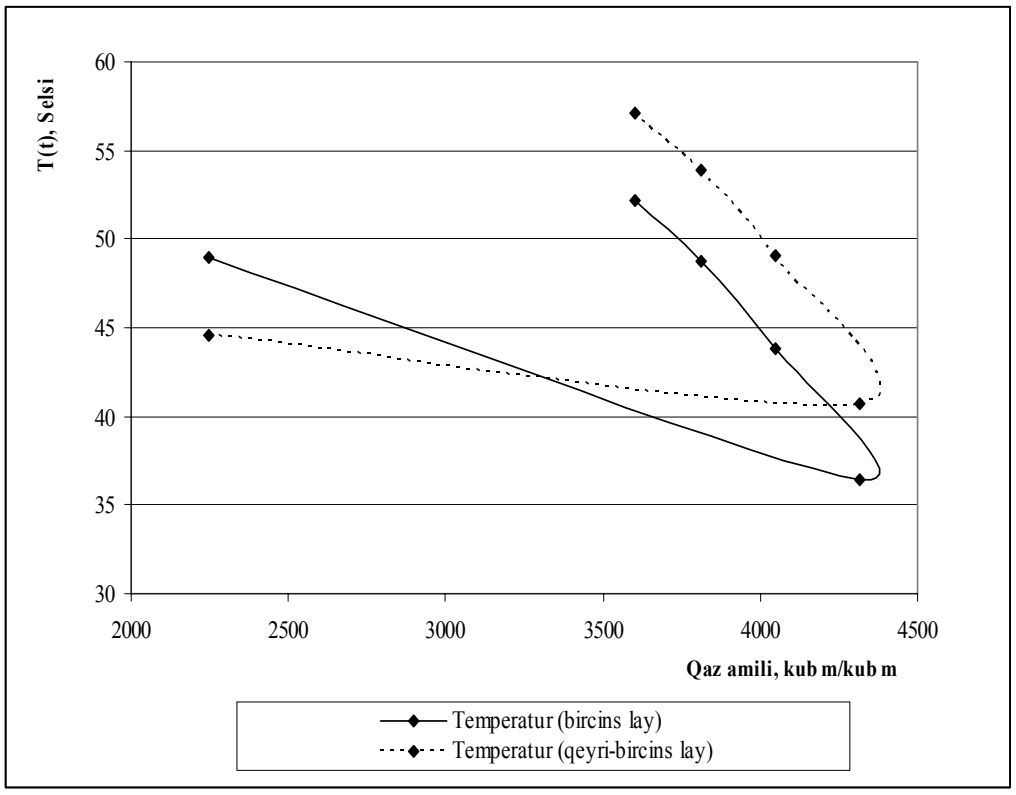
Ədədi eksperimentlərin nəticələrinin bir qismi qrafiki təsvirlə 1-4-cü şəkillərdə verilmişdir. 1-ci şəkildən görünür ki, zamanın kiçik qiymətlərində quyuda temperaturun kəskin azalması müşahidə edilir. Bu şəkildə göstərilmiş temperatur anomaliyasının yaranması quyuətrafı zonada neftdən qazın kəskin şəkildə ayrılması ilə əlaqədardır. Verilmiş məlumatlar şəraitində $t \geq 30$ gündən sonra temperatur artmağa başlayır və temperatur anomaliyası müsbət qiymət alır. Temperaturun bu qanunauyğunluqla dəyişməsi layda qazın neftdən ayrılmasını xarakterizə etdiyindən onu layın neftlədoyma xüsusiyyətinin qiymətləndirilməsində istifadə etmək olar.

İstismarın müəyyən anından sonra temperaturun bir qiymətinə qaz amilinin ikili qiyməti uyğun gəlir (2-ci şəkil). Qeyd edək ki, bu anomaliya hündürlük üzrə qeyri-bircins və bircins layların hər birində müəyyən fərqlə özünü göstərir. Həmcinin quyuda və layda istismar zamanı temperaturun anomal dəyişmə qanunauyğunluğu neftlədoymanın ilkin olaraq azalması və sonradan artması ilə müşayiət olunur (3-cü şəkil). Bu qanunauyğunluq qeyri-bircins və bircins laylarda analogiya təşkil edir.

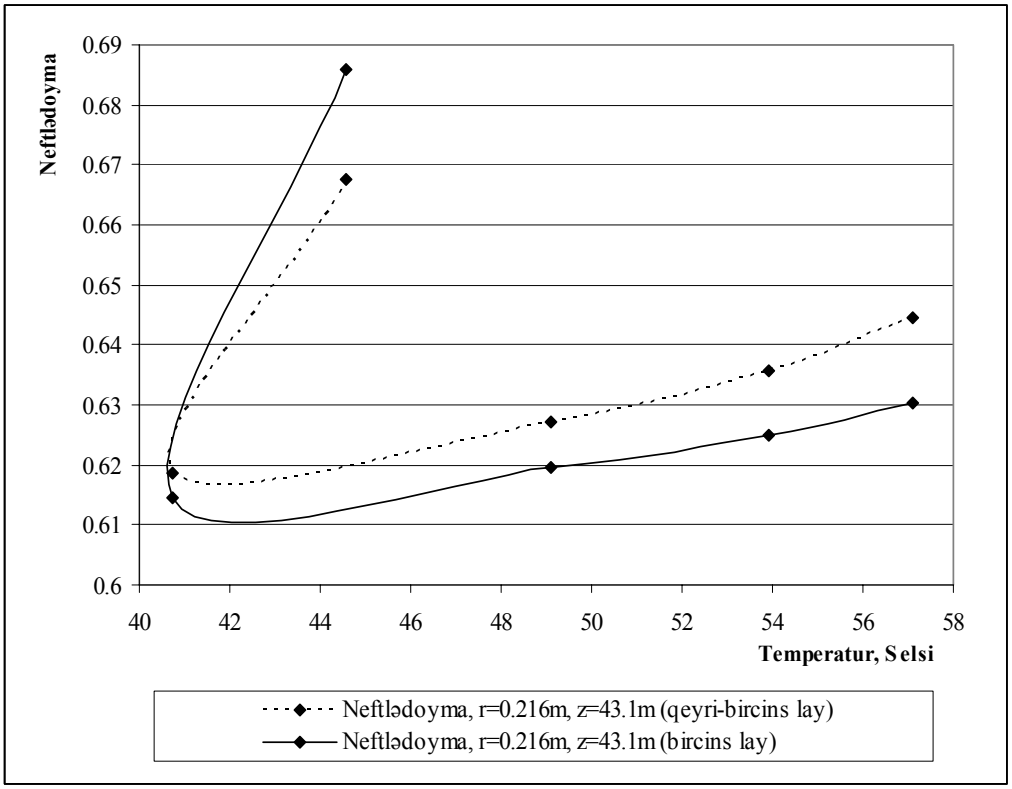
Neft hasilatının zamandan asılı olaraq dəyişməsində də uygun şəkildə eyni tendensiya özünü göstərir, lakin qeyri-bircins layda bircins layla müqayisədə temperaturun zəif düşməsi hasilatın neftə görə daha yüksək olmasını təmin edir (4-cü şəkil).



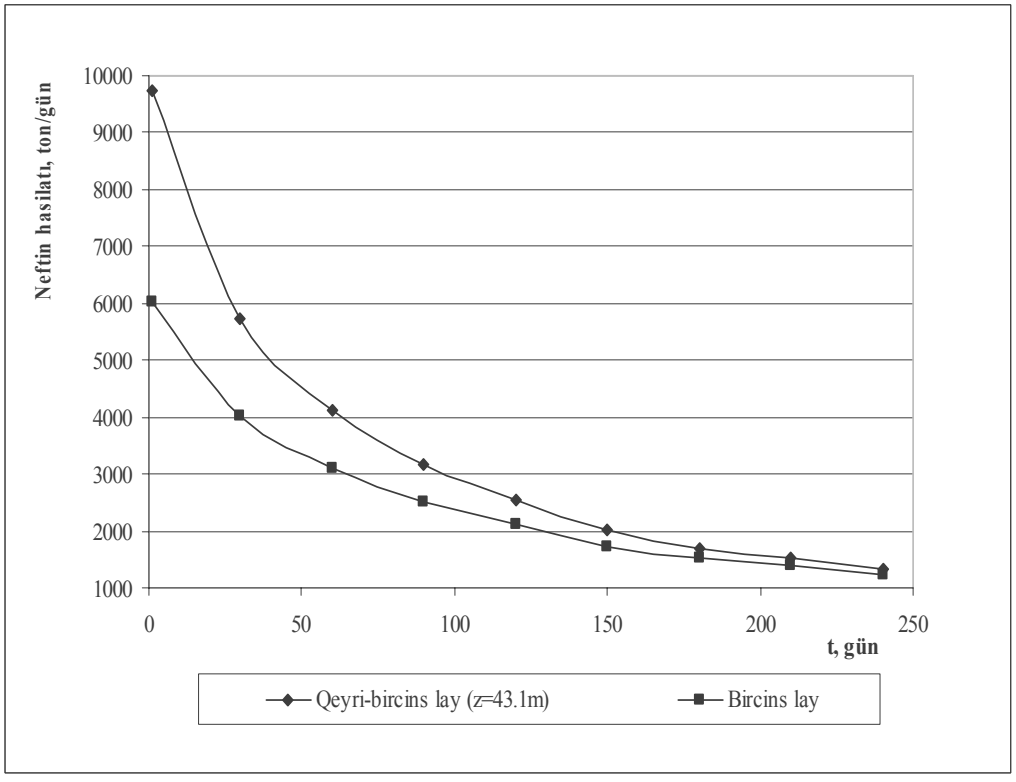

**1-ci şəkil.** Temperaturun zamandan asılı olaraq dəyişməsi




**2-ci şəkil.** Layda temperaturun qaz amilindən asılı olaraq dəyişməsi




**3-cü şəkil.** Quyuda neftlədoymanın temperaturdan asılı olaraq dəyişməsi




**4-cü şəkil.** Neft hasilatının zamandan asılı olaraq dəyişməsi

## NƏTİCƏ

– Lay təzyiqi neftin qazladoyma təzyiqindən aşağı olan qeyri-bircins yataqların işlənilməsi prosesində, flüidin fəza axını şəraitində mayenin qazsızlaşması və drossel effektlərini nəzərə alan hidrotermodinamik model təklif edilmiş və ədədi hesablama sxemi işlənilmişdir.

– Alınmış nəticələr fəza süzülməsi zamanı temperatur sahəsinin formalaşması haqqında mövcud olan məlumatları tamamlayır və quyu məlumatlarının interpretasiyasının etibarlılığının və dəqiqliyinin artırılması üçün istifadə edilə bilər.

### ƏDƏBİYYAT

АБАСОВ, М.Т., АЗИМОВ, Э.Х., КУЛИЕВ, А.М. 1993. Гидротермодинамические исследования скважин глубокозалегающих месторождений. Баку. 176 с.

АЗИЗ, Х., СЕТТАРИ, Э. 1982. Математическое моделирование пластовых систем. Недра. Москва. 407 с.

АЛИШАЕВ, М.Г., РОЗЕНБЕРГ, М.Д., ТЕСЛЮК, Е.В. 1985. Неизотермическая фильтрация при разработке нефтяных месторождений. Москва. Недра. 271 с.

ВАХИТОВ, Г.Г., ГАТТЕНБЕРГЕР, Ю.П., ЛУТКОВ, В.А. 1984. Геотермические методы контроля за разработкой нефтяных месторождений. Недра. Москва. 240 с.

КАРАЧИНСКИЙ, В.Е. 1975. Методы геотермодинамики залежей газа и нефти. Недра. Москва. 168 с.

РАМАЗАНОВ, А.Ш. 2004. Теоретические основы термогидродинамических методов исследования нефтяных пластов. Дисс. на соиск. … докт. техн.наук, Уфа, 269 с.

РАМАЗАНОВ, А.Ш., ПАРШИН, А.В. 2006. Температурное поле в нефте-водо-насыщенном пласте с учетом разгазирования нефти. htpp:www.ogbus.ru, *Нефтегазовое дело*, 1-17.

ФИЛИППОВ, А.И., ФИЛИППОВ, С.А. 2002. Термодинамика фильтрационных нефтегазовых потоков. СГПИ. Стерлитамак. 200 с.

ФИЛИППОВ, А.И., АХМЕТОВА, О.В. 2011. Температурное поле в пласте и скважине. Гилем. Уфа. 329 с.

ЧЕКАЛЮК, Э.Б. 1965. Термодинамика нефтяного пласта. Недра. Москва. 238 с.

ФЕЙЗУЛЛАЕВ, Х.А. 2011 Совершенствование моделирования гидрогазодинамических основ разработки глубокозалегающих газоконденсатных месторождений: Дисс. на соиск. … докт.техн.наук. НАНА ИГ. 303 с.

***Məqaləyə Azərbaycan MEA-nın müxbir üzvü T.Ş.Salavatov rəy vermişdir.***

© İ.N.Əliyev, 2015

# QAZ-KONDENSAT LAYLARINA YÜNGÜL MAYE KARBOHİDROGENLƏRLƏ ZƏNGİNLƏŞDİRİLMİŞ QAZLA TƏSİR PROSESİNİN ƏDƏDİ MODELLƏŞDİRİLMƏSİ

**İ.N.Əliyev**

*Azərbaycan Dövlət Neft Akademiyası*
*AZ1010, Bakı, Azadlıq prosp.,20*

Məqalə flyuidlərin çoxkomponentli ikifazalı süzülmə modeli bazasında qaz-kondensat laylarına yüngül maye karbohidrogenlərlə zənginləşmiş qazla təsir prosesinin ədədi tədqiqinə həsr edilmişdir. Uyğun hesablama sxemi və alqoritmi işlənilmiş, konkret yataq üçün proqnoz hesablamaları yerinə yetirilmişdir. Müəyyən olunmuşdur ki, yüngül maye karbohidrogenlərin və sonra quru qazın müəyyən təzyiq altında laya vurulması layın qaz-kondensat sistemi ilə quru qaz arasında yüngül maye karbohidrogenlər araqatının yaradılmasını və yüngül maye karbohidrogenlərin quru qazla təması onların buxarlanaraq qaz fazasına keçməsini və nəticədə yüngül maye karbohidrogenlərlə zənginləşmiş qazla layın qaz-kondensat sisteminin istismar quyularına tərəf müntəzəm olaraq sıxışdırılması təmin olunur.

Qaz-kondensat yataqlarının kondensatveriminin artırılmasının mümkün hesab edilən müxtəlif üsulları içərisində dünya miqyasında ən geniş yayılanı lay təzyiqini saxlamaq üçün laydan çıxarılan quru qazın laya vurulması üsulu və ya Sayklinq prosesidir. Bu prosesin xüsusiyyətlərinin tədqiqinə çoxsaylı işlər (Николаевский, 1968; Гуревич и др., 1976; Кондрат, 1992; Закиров, 1998 və s.) həsr edilmişdir.

Bu prosesin əsas çatışmayan cəhətlərindən biri yatağa vurulan qazın uzun müddət üçün istifadə edilə bilinməməsidir. Bununla əlaqədar olaraq onun tətbiqi çox nadir hallarda yerinə yetirilir.

İşdə qranulyar kollektorlar üçün başlanğıc kondensasiya təzyiqindən aşağı və maksimal kondensasiya təzyiqindən yuxarı təzyiq intervalında laya yüngül maye karbohidrogenlərlə zənginləşdirilmiş qazın vurulması üsulunun tətbiqi təklif edilir. Belə ki, laydan götürülən ümumi qazdan $C_{5+}$ karbohidrogenləri ayrıldıqdan sonra toplanan "quru" karbohidrogen qaza təzyiq altında müəyyən miqdarda yüngül maye $C_{2-4}$ komponentləri əlavə edilməklə alınan qazın vurucu quyulara vurulması və layın qaz-kondensat sisteminin istismar quyularına tərəf sıxışdırılması nəzərdən keçirilir. Yüngül maye karbohidrogenlərlə zənginləşdirilmiş vurulan qazın ümumi həcmi istismar zamanı laydan emal edilən ümumi hasilatın müəyyən hissəsini təşkil edir.

Qaz-kondensat laylarının işlənilməsi zamanı laya yüngül maye karbohidrogenlərlə zənginləşdirilmiş qazın vurulması üsulunun tətbiqinin səmərəliliyini qiymətləndirmək üçün karbohidrogen komponentlərin qeyri-bircins sistemlərinin izotermik süzülməsi araşdırılır. Qəbul olunub ki, hər bir komponentin şəraitdən asılı olaraq müəyyən hissəsi həm maye, həm də qaz halında ola bilər. Hər bir komponentin karbohidrogen fazalarında ümumiləşmiş Darsi qanununa tabe olan hərəkətini nəzərə almaqla, kəsilməzlik tənliklərini fazalararası kapillyar təzyiqin nəzərə alınmaması əsas götürülməklə daxil etsək, aşağıdakı diferensial tənliklər sistemini alarıq (Розенберг, Кундин, 1976):

$$div\left[\left(\frac{k_m\rho_m}{\mu_m}x_i+\frac{k_q\rho_q}{\mu_q}y_i\right)gradP\right]=$$

$$=\frac{\partial}{\partial t}\left[m\left(\rho_m x_i s_m+\rho_q y_i s_q\right)\right]+$$

$$+\sum_{v=1}^{S}\left(Q_{m_v}(t)+Q_{q_v}(t)\right)\delta(x-x_v)\delta(y-y_v)\delta(z-z_v),i=\overline{1,n}\ , \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^{n}x_i=1\ ,\ \sum_{i=1}^{n}y_i=1\ ,\ s_m+s_q=1\ , \quad (2)$$

Burada "m" və "q" – karbohidrogenlərin qaz və maye fazalarının uyğun olaraq indeksini göstərir; $x_i$, $y_i$ – uyğun olaraq vahid maye və qaz kütləsində *i* karbohidrogen komponentin miqdarlarıdır; $s_m$ və $s_q$ – uyğun olaraq maye və qaz fazaları ilə məsaməli mühitin doymasını göstərir; *m* – məsaməlik; *p* – təzyiq; $Q_m$ və $Q_q$ – uyğun olaraq maye və qaz fazalarının i komponentinə görə quyunun işini modelləşdirən mənbəyin sıxlıqlarıdır; $\delta$ –

Dirak funksiyasıdır; $n$ – komponentlərin sayı; $\rho_q$ və $\rho_m$ – uyğun olaraq qaz və mayenin sıxlıqlarıdır; $x_\nu, y_\nu, z_\nu$ – $\nu$ mənbəyin koordinatlarıdır; $k_q$ və $k_m$ – uyğun olaraq qaz və mayenin nəzəri faza keçiriciliklərdir; $\mu_q$ və $\mu_m$ – uyğun olaraq qazın və mayenin dinamik özlülükləridir.

(1)-(3) sistemi üçün başlanğıc və sərhəd şərtləri daxil edək:

$$\begin{aligned} P(x,y,z,t)\big|_{t=0} &= P_0(x,y,z), \\ s_q(x,y,z,t)\big|_{t=0} &= s_{q_0}(x,y,z), \end{aligned} \tag{3}$$

$$z_i(x,y,z,t)\big|_{t=0} = z_{i_0}(x,y,z), \tag{4}$$

$$\frac{\partial P(x,y,z,t)}{\partial n}\bigg|_{\Omega} = 0, \tag{5}$$

burada $z_i$ – lay qarışığının tərkibidir və $z_i = y_i F_q + x_i F_m$ şəklində təyin edilir; $F_q$ və $F_m$ – lay qarışığında uyğun olaraq qaz və maye fazalarının həcmidir.

(1)-(2) sisteminin uyğun (3)-(5) başlanğıc və sərhəd şərtləri daxilində həlli məsaməli mühitdə çoxkomponentli mayelərin izotermik süzülməsinin müxtəlif məsələlərini tədqiq etməyə imkan verir.

Termodinamik tarazlıq şərtlərinin ödənilməsi zamanı (1)-(5) tənliklər sistemi aşağıdakı münasibətlərlə tamamlanır:

$$\begin{aligned} \rho_m &= \rho_m(P, T, z_1, z_2, \ldots, z_N, z_s), \\ \rho_q &= \rho_q(P, T, z_1, z_2, \ldots, z_N, z_s), \\ \mu_m &= \mu_m(P, T, z_1, z_2, \ldots, z_N, z_s), \\ \mu_q &= \mu_q(P, T, z_1, z_2, \ldots, z_N, z_s). \end{aligned} \tag{6}$$

(1)-(6) tənliklər sisteminin həlli zamanı qaz və maye fazalarının fiziki xassələri (Брусиловский, 2002; Закиров и др., 1988; Закиров, 1989)-da təklif olunan hesablama üsuluna görə təyin edilir.

Təklif olunan riyazi model özündə mürəkkəb qeyri-xətti tənliklər sistemini saxlayır və onun həlli üçün ədədi üsullardan istifadə edilmişdir. Bütün $i = \overline{1,N}$ komponentlərə görə, sxemin konservativliyi üçün və zamanın istənilən kəsimində $\sum_{i=1}^{N} x_i = \sum_{i=1}^{N} y_i = 1$ şərtinin ödənilməsinin təmin edilməsinə görə "təzyiqə görə qeyri-aşkar, tərkib və fazalara görə isə aşkar" hesablama sxemi təklif edilir.

(1) - (2) sisteminin tənliklərini bütün komponentlərə görə cəmləsək, ümumi qatışıq kütləsinin saxlanması tənliyi alınar:

$$div\left[\left(\frac{k_m\rho_m}{\mu_m} + \frac{k_q\rho_q}{\mu_q}\right) gradP\right] = \frac{\partial}{\partial t}\left[m(\rho_m s_m + \rho_q s_q)\right] + \sum_{\nu=1}^{S} \overline{Q}(t)\delta(x - x_\nu)\delta(y - y_\nu)\delta(z - z_\nu). \tag{7}$$

Onda (1) - (2) sistemi aşağıdakı sistemə ekvivalent olar:

$$div\left[\phi(P, s_q, s_m) gradP\right] = \frac{\partial}{\partial t}\left[\psi(P, s_q, s_m)\right] + \sum_{\nu=1}^{S} \overline{Q}(t)\delta(x - x_\nu)\delta(y - y_\nu)\delta(z - z_\nu), \tag{8}$$

$$div\left[\alpha_i z_i\ gradP\right] = \frac{\partial}{\partial t}\left[\varphi_i z_i\right] + \sum_{\nu=1}^{S} \left(Q_{m_\nu}(t) + Q_{q_\nu}(t)\right)\delta(x - x_\nu)\delta(y - y_\nu)\delta(z - z_\nu), \tag{9}$$

$$s_m + s_q = 1, \tag{10}$$

Burada

$$\phi(P, s_q, s_m) = \frac{k_m\rho_m}{\mu_m} + \frac{k_q\rho_q}{\mu_q},$$

$$\psi(P, s_q, s_m) = m(\rho_m s_m + \rho_q s_q),$$

$$\overline{Q}(t) = \sum_{i=1}^{n} \left(Q_{mi}(t) + Q_{qi}(t)\right),$$

$$\alpha_i = \frac{1}{1 + F_q(k_i - 1)}\left(\frac{k_m\rho_m}{\mu_m} + \frac{k_q\rho_q}{\mu_q} k_i\right),$$

$$\varphi_i = \frac{m}{1 + F_q(k_i - 1)}\left(\rho_m s_m + \rho_q s_q k_i\right).$$

Işarələmələr daxil etməklə:

$$\frac{\partial\psi}{\partial p}=\psi'_p\ ,\ \frac{\partial\psi}{\partial s_q}=\psi'_{s_q}\ ,\ \frac{\partial\psi}{\partial s_s}=\psi'_{s_s}\ ,$$
$$\frac{\partial\varphi_i}{\partial p}=\varphi'_{ip}\ ,\ \frac{\partial\varphi_i}{\partial s_m}=\varphi'_{ism}\ ,\ \frac{\partial\varphi_i}{\partial s_q}=\psi'_{is_q}$$

(8) - (10) verilmiş tənliklər sisteminə inteqral-interpolyasiya üsulunu tətbiq etsək, onda (8) - (10), (3) - (5) məsələsinin ədədi həlli $\left(x_e, y_j, \bar{z}_k, t_n\right)$ qeyri-müntəzəm şəbəkənin düyün nöqtələrində aşağıdakı sonlu fərqli məsələnin həllinin tapılmasına gətirilər:

$$\frac{1}{\Delta x_e}\left[\phi^{n+1}_{e+1/2,j,k}\frac{P^{n+1}_{e+1,j,k}-P^{n+1}_{e,j,k}}{\Delta x_{e+1/2}}-\right.$$
$$\left.-\phi^{n+1}_{e-1/2,j,k}\frac{P^{n+1}_{e,j,k}-P^{n+1}_{e-1,j,k}}{\Delta x_{e-1/2}}\right]+$$
$$+\frac{1}{\Delta y_j}\left[\phi^{n+1}_{e,j+1/2,k}\frac{P^{n+1}_{e,j+1,k}-P^{n+1}_{e,j,k}}{\Delta y_{j+1/2}}-\right.$$
$$\left.-\phi^{n+1}_{e,j-1/2,k}\frac{P^{n+1}_{e,j,k}-P^{n+1}_{e,j-1,k}}{\Delta y_{j-1/2}}\right]+$$
$$+\frac{1}{\Delta\bar{z}_k}\left[\phi^{n+1}_{e,j,k+1/2}\frac{P^{n+1}_{e,j,k+1}-P^{n+1}_{e,j,k}}{\Delta\bar{z}_{k+1/2}}-\right.$$
$$\left.-\phi^{n+1}_{e,j,k-1/2}\frac{P^{n+1}_{e,j,k}-P^{n+1}_{e,j,k-1}}{\Delta\bar{z}_{k-1/2}}\right]=$$
$$=\psi'^{n}_{pe,j,k}\frac{P^{n+1}_{e,j,k}-P^{n}_{e,j,k}}{\Delta\tau}+$$
$$+\psi'^{n}_{s_qe,j,k}\frac{s^{n+1}_{q,j,k}-s^{n}_{qe,j,k}}{\Delta\tau}+$$
$$+\psi'^{n}_{s_me,j,k}\frac{s^{n+1}_{me,j,k}-s^{n}_{me,j,k}}{\Delta\tau}+\sum\bar{Q}^{n}_{e,j,k},\qquad(11)$$

$$\frac{1}{\Delta x_e}\left[\alpha^{n+1}_{ie+1/2,j,k}z^{n+1}_{ie+1,j,k}\frac{P^{n+1}_{e+1,j,k}-P^{n+1}_{e,j,k}}{\Delta x_{e+1/2}}-\right.$$
$$\left.-\alpha^{n+1}_{ie-1/2,j,k}z^{n+1}_{ie,j,k}\frac{P^{n+1}_{e,j,k}-P^{n+1}_{e-1,j,k}}{\Delta x_{e-1/2}}\right]+$$
$$+\frac{1}{\Delta y_j}\left[\alpha^{n+1}_{ie,j+1/2,k}z^{n+1}_{ie,j+1,k}\frac{P^{n+1}_{e,j+1,k}-P^{n+1}_{e,j,k}}{\Delta y_{j+1/2}}-\right.$$
$$\left.-\alpha^{n+1}_{ie,j-1/2,k}z^{n+1}_{ie,j,k}\frac{P^{n+1}_{e,j,k}-P^{n+1}_{e,j-1,k}}{\Delta y_{j-1/2}}\right]+$$
$$\frac{1}{\Delta\bar{z}_k}\left[\alpha^{n+1}_{ie,j,k+1/2}z^{n+1}_{ie,j,k+1}\frac{P^{n+1}_{e,j,k+1}-P^{n+1}_{e,j,k}}{\Delta\bar{z}_{k+1/2}}-\right.$$
$$\left.-\alpha^{n+1}_{ie,j,k-1/2}z^{n+1}_{ie,j,k}\frac{P^{n+1}_{e,j,k}-P^{n+1}_{e,j,k-1}}{\Delta\bar{z}_{k-1/2}}\right]=$$
$$=\varphi^{n}_{ie,j,k}\frac{z^{n+1}_{ie,j,k}-z^{n}_{ie,j,k}}{\Delta\tau}+$$
$$+\varphi'_{ip}\frac{P^{n+1}_{e,j,k}-P^{n}_{e,j,k}}{\Delta\tau}+$$
$$+\varphi'_{iS_m}\frac{s^{n+1}_{me,j,k}-s^{n}_{me,j,k}}{\Delta\tau}+$$
$$+\varphi'_{is_q}\frac{s^{n+1}_{qe,j,k}-s^{n}_{qe,j,k}}{\Delta\tau}+$$
$$+\sum_{\nu=1}^{S}\left(Q^{n}_{m_\nu}+Q^{n}_{q_\nu}\right)_{e,j,k}\ ,\qquad(12)$$

$$s^{n}_{me,j,k}+s^{n}_{qe,j,k}=1\ ,\qquad(13)$$
$$P^{0}_{\mathrm{e,j,k}}=P_{0e,j,k}\ ,\ s^{0}_{qe,\mathrm{j,k}}=s_{q0e,j,k}\ ,$$

$$z^{0}_{ie,j,k}=z_{i0e,j,k}, e=\overline{1,N_x}\ ,\ j=\overline{1,N_y}\ ,\ k=\overline{1,N_z}\ ,\qquad(14)$$
$$P^{n}_{0,\mathrm{j,k}}=P^{n}_{1,j,k}\ ,\ P^{n}_{N_x\text{-}1,\mathrm{j,k}}=P^{n}_{N_x,j,k}\ ,$$
$$P^{n}_{e,0,k}=P^{n}_{e,1,k}\ ,\ P^{n}_{e,N_y\text{-}1,k}=P^{n}_{e,N_y,k}\ ,$$
$$P^{n}_{e,j,0}=P^{n}_{e,j,1}\ ,\ P^{n}_{e,j,N_z\text{-}1}=P^{n}_{e,j,N_z}\ ,$$
$$n=1,2,...,\ \ j=\overline{1,N_y}\ ,\ k=\overline{1,N_z}\ ,\qquad(15)$$

Burada

$$S^{n}_{me,j,k}=\frac{\left(1-F_q\right)\rho^{n}_{e,j,k}M_m}{\left(1-F_q\right)\rho^{n}_{e,j,k}M_m+F_q\rho^{n}_{me,j,k}M_q}\ ,$$
$$\Delta\tau=\frac{e_n}{n}\ ,\ n=1,2,...\ ,$$

$$x_{e+1/2} = x_e + \frac{1}{2}\Delta x_{e+1/2}\ ,\ \Delta x_{e+1/2} = x_{e+1} - x_e\ ,\ e = \overline{1, N_x}\ ;$$

$$y_{j+1/2} = y_j + \frac{1}{2}\Delta y_{j+1/2}\ ,\ \Delta y_{j+1/2} = y_{j+1} - x_j\ ,\ j = \overline{1, N_y}\ ;$$

$$\bar{z}_{k+1/2} = \bar{z}_k + \frac{1}{2}\Delta \bar{z}_{k+1/2}\ ,\ \Delta \bar{z}_{k+1/2} = \bar{z}_{k+1} - \bar{z}_k\ ,\ k = \overline{1, N_z}\ ;$$

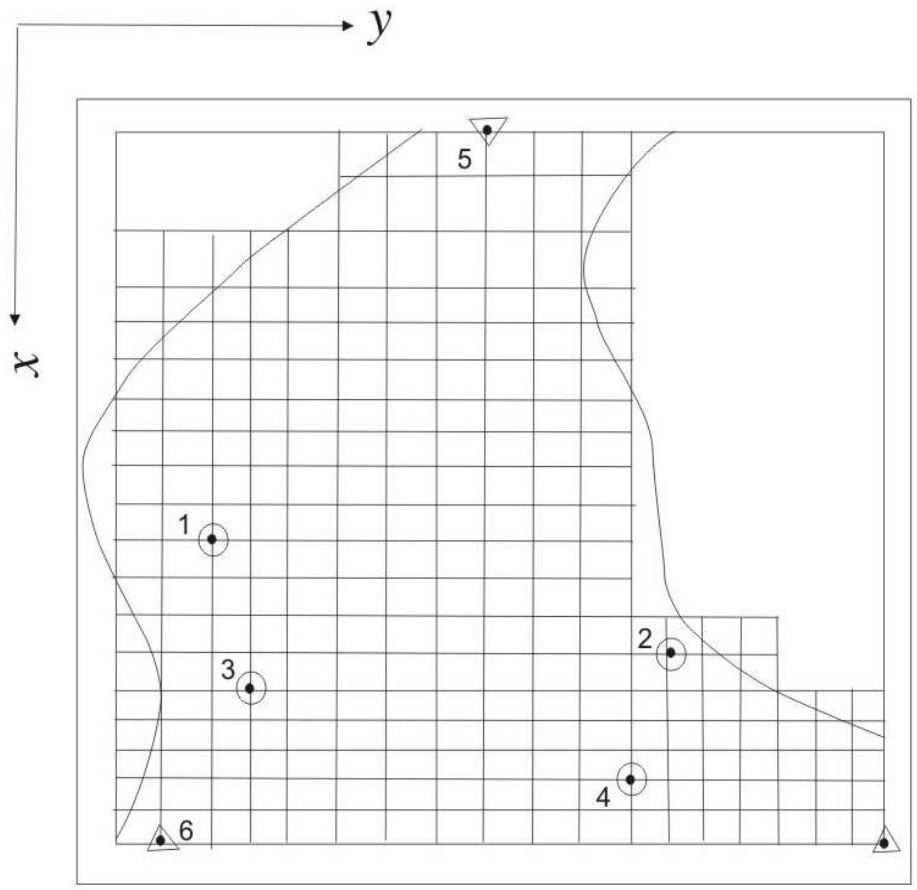
$$\Delta x_e = \frac{1}{2}\left(x_{e+1/2} + x_{e-1/2}\right),\ e = \overline{0, N_x}\ ,$$

$$x_1 = 0\ ,\ x_{N_{x_1}} = L_x\ ,\ N_{x_1} = N_x + 1\ ;$$

$M_q$ və $M_m$ – uyğun olaraq qaz və maye fazalarının molyar kütlələridir.

(11) - (15) sisteminin həll alqoritmi aşağıdakı ardıcıllıqla yerinə yetirilir: təzyiqin paylanması (11) tənliklərindən nöqtəli Yakobi üsulu (Азиз, Сетари, 1982) ilə tapılır, sonra (12) - (15) tənliklərindən uyğun olaraq komponentlərin miqdarı və hər bir fazanın doyumu aşkar şəkildə təyin edilir. Başlanğıc hesablamalardan əvvəl hər bir addımda ikifazalı tarazlığı ifadə edən hesablamalar aparılaraq nəticə etibarilə $\alpha_i$ və $\varphi_i$-nin qiymətlərinin tapılması yerinə yetirilir.

Təklif olunan alqoritm əsasında konkret qazkondensat yatağı üçün ədədi eksperimentlər aparılmışdır. Yatağın sahəsi təxminən 6,25 $km^2$-dir. Başlanğıc lay təzyiqi 52 *MPa*-ya bərabərdir. Başlanğıc temperatur isə 393 *K*-dir. Layın hündürlüyü 12-15,4 *m* intervalında dəyişir. Məsaməlik əmsalı 0,2-yə bərabərdir. Layın keçiriciliyi 0,001-0,04*$10^{-12} m^2$ intervalında dəyişir. Layın mərkəzi hissəsində dörd istismar quyusu və qazlılıq konturunun kənarlarında isə üç sayda vurucu quyu yerləşdirilmişdir (1-ci şəkil). Layın qazdoyma hissələri *x,y* və *z* koordinatlarına görə, uyğun olaraq 13, 14 və 1 düyün nöqtələrindən ibarət üçölçülü şəbəkə oblastı üzrə approksimasiya edilmişdir. Blokun birinin ölçüsü 250 x 250 x 14 m təşkil edir.




**1-ci şəkil.** Layın struktur xəritəsi və quyuların yerləşmə sxemi

Işlənilmə göstəricilərinin proqnozlaşdırılması üçün layı doyduran flüidlərin zəruri fiziki xassələri qaz-kondensat quyularının tədqiqi əsasında alınmışdır və flüidlərin xassələrinin bu üsulla təyin edilə bilinməyən digər asılılıqları uyğun hesablamaların aparılması ilə yerinə yetirilmişdir.

Qazın və kondensatın sıxlıqdan asılılıqları real qazın Penq-Robinson (Robinson et al., 1978; Брусиловский, 2002) hal tənliyinin köməyi ilə hesablanmışdır. Qazın və kondensatın özlülüklərinin qiymətləri və onların lay təzyiqindən asılılıqları Din və Stil üsuluna (Закиров, 1988) əsasən tapılır.

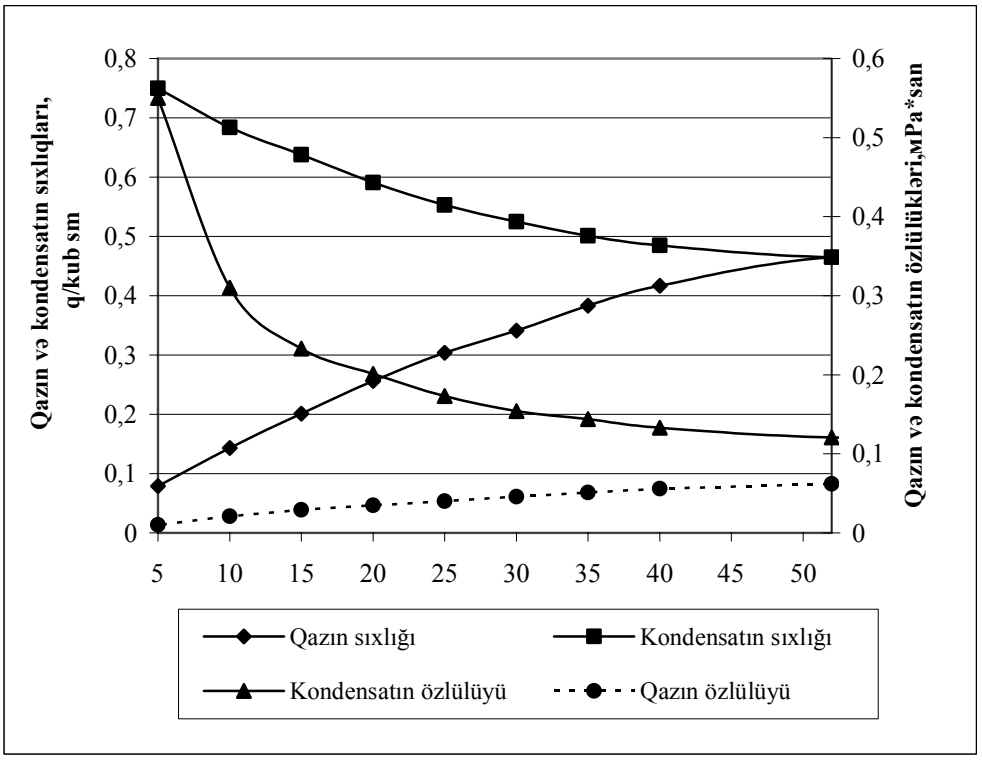
2-ci şəkildə yataq şəraiti üçün qazın, kondensatın sıxlıqlarının və özlülüklərinin təzyiqdən asılılıq əyriləri verilmişdir.

Yuxarıda qeyd olunan süzülmə modeli əsasında hesablamaların aparılması üçün müxtəlif təzyiqlərdə komponentlərin iştirak etdiyi fazalarda qiymətlərinin bilinməsi zəruridir. Qaz fazasında həll olmuş maye karbohidrogen komponentlərinin və maye fazasında həll olmuş qaz komponentlərinin miqdarları cüt-cüt qarşılıqlı təsir əmsallarını nəzərə alan Penq-Robinson hal tənliyinin (Robinson et al., 1978) həlli əsasında tapılır.

Lay sistemi 15 komponenti özündə saxlayan qarışıqla modelləşdirilmişdir, belə ki, $C_{5+}$ qrupu fraksiya bölgülərinin verilənlərinə uyğun 9 sayda fraksiya ilə təqdim olunur. Qatışığın başlanğıc tərkibi (%-lə) aşağıdakı kimidir: azot – 2,69, karbon qazı – 3,31, metan – 60,95, etan – 10,89, propan – 6,66, butan – 2,84, $C_{5+}$ karbohidrogenlər qrupu – 12,66 (Закиров и др., 1989). İlkin qatışıqda $C_{5+}$ karbohidrogenlər qrupunun miqdarı 895 $q/m^3$, uyğun olaraq lay qazında butansızlaşdırılmış kondensatın potensial miqdarı 1026 $sm^3/m^3$-dir. $C_{5+}$ karbohidrogenlər qrupunun molekulyar kütləsi 170,1-dir.

Layın başlanğıc kondensasiya təzyiqinin 49 *MPa*, maksimal kondensasiya təzyiqinin isə 38 *MPa* olması nəzəri yolla diferensial kondensasiya prosesinin tənliklərinin layın ilkin tərkibinə görə həllinin tapılması nəticəsində müəyyənləşdirilmişdir.

İkifazalı süzülməyə baxılarkən qazın və kondensatın nisbi faza keçiriciliklərinin məsaməli mühitin flüidlərlə doymasından asılılıqlarının hesablamalarda istifadə edilməsi zəruriliyi yaranır. İkifazalı axında faza keçiriciliklərinin eksperimental təyini praktiki olaraq mümkünsüzdür. Ona görə də hesablama modelinin realizə edilməsi zamanı B.Rovzun (Азиз, Сеттари, 1982) təklif etdiyi üsulla faza keçiriciliklərinin identifikasiyası aparılır (Фейзуллаев, Рзаева, 2001).




**2-ci şəkil.** Qazın, kondensatın sıxlıq və özlülüklərinin təzyiqdən asılılıqları

Qaz-kondensat yataqlarının işlənilməsi zamanı yüngül maye karbohidrogenlərlə zənginləşdirilmiş qazın vurulması üsulunun tətbiqinin səmərəliliyini qiymətləndirmək üçün tədqiq olunan yatağın işlənilməsinin aşağıdakı hesablama variantlarına baxılmışdır:

**I variant**. Qaz-kondensat yatağı lay enerjisi hesabına, yəni tükənmə rejimi vasitəsiilə mədəndə texnoloji şərtlərin ödənilməsi nəzərə alınmaqla müəyyən təzyiqə qədər işlənilməsi davam etdirilir. Quyuların istismara daxil edilməsi qaydası əsas götürülməklə və çıxarılan illik qaz ümumi qaz ehtiyatının 3,4%-nə bərabər olmaqla dörd istismar quyusu vasitəsilə bərabər orta debitlə işlənilməsi qəbul edilir. Tükənmə rejimi ilə işləyən yatağın göstəricilərinin dinamikasını əsas götürməklə bir istismar quyusunun qaza görə debiti $640 \cdot 10^3$ $m^3/gün$ olur.

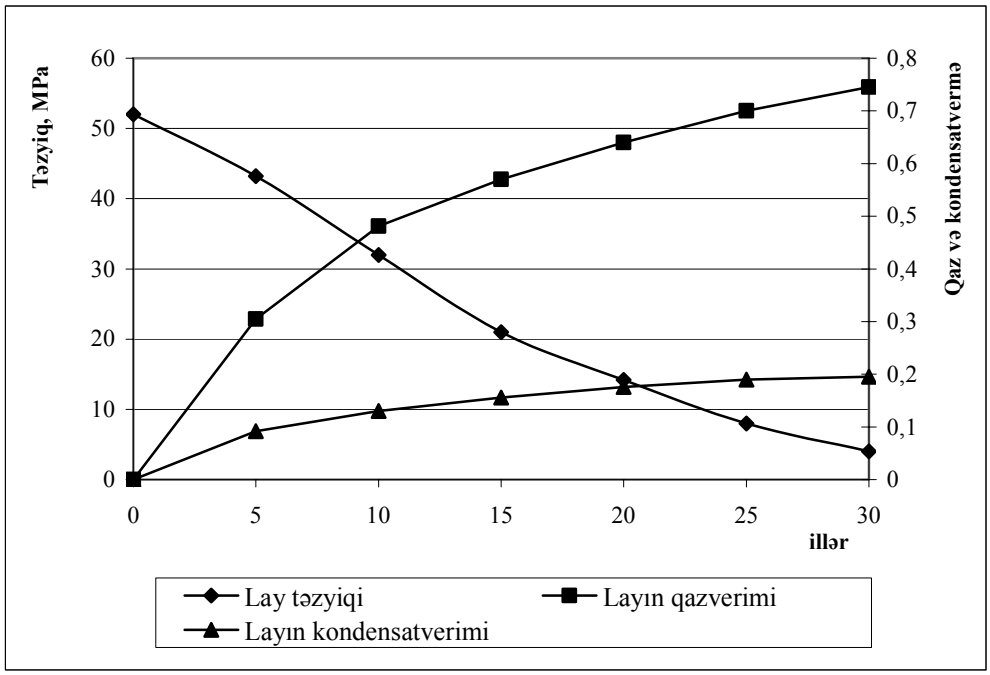
**II variant**. Bu variantda tam və hissə-hissə Sayklinq-proses tətbiq edilir.

**III variant**. Bu halda laya yüngül maye karbohidrogenlərlə zənginləşdirilmiş qazın vurulması prosesi aparılır.

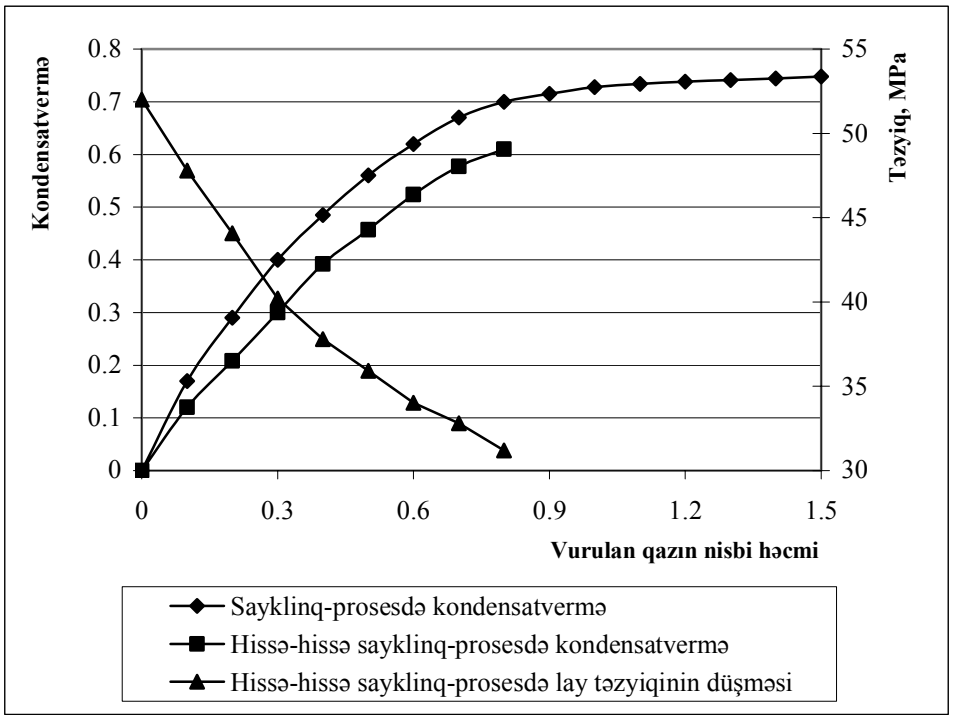
Yuxarıda göstərilən üç variantın hər biri qaz-kondensat laylarının işlənilməsinin müxtəlif texnologiyalarını imitasiya (əks) etdirir. Baxılan işlənilmə texnologiyaları yerinə yetirilən qazhidrodinamik hesablamanın nəticəsinə əsasən, aşağıdakı göstəricilərlə xarakterizə olunur:

– Birinci işlənilmə variantına görə, lay modelinin tükənmə rejimi 30 il davam edir. Bu müddət ərzində lay modelində başlanğıc qaz və kondensat ehtiyatının 74%-i və 19,2% -i çıxarıla bilir. Göstərilən işlənilmə dövrü ərzində lay təzyiqi 52*MPa*-dan 3,9 *MPa*-ya qədər aşağı düşmüşdür (3-cü şəkil). Tükənmə rejimində işləyən yatağın işlənilməsi zamanı proqnoz hesablamalar - qaza görə orta gündəlik debitinin 4 saylı quyu üçün $640 \cdot 10^3$ $m^3/gün$-dən $7{,}4 \cdot 10^3$ $m^3/gün$-ə, kondensata görə isə 50 $t/gün$-dən 1,1 $t/gün$-ə qədər azalması göstərilmişdir.

– İkinci variantda tam və hissə-hissə sayklinq-prosesi tətbiq edilir. Birinci halda yataqdan götürülən ümumi qazdan $C_{5+}$ karbohidrogenlər ayrıldıqdan sonra laya vurulur. Ona görə də çıxarılan qazın lay şəraitindəki həcmi başlanğıc lay təzyiqini saxlamaq üçün onun laya vurulan həcmindən çox olur. Lay təzyiqini başlanğıc səviyyədə saxlamaq üçün vurulan azalmış qazın həcmi digər yataqlardan əldə edilən qazın hesabına kompensasiya edilir. Tam sayklinq-prosesdə laydan çıxarılan kondensatın proqnoz əmsalı 76%-ə çatır (4-cü şəkil), hissə-hissə sayklinq-prosesdə isə çıxarılan qazın müəyyən hissəsi yüksək qaynama qabiliyyətli karbohidrogenlərə ayrıldıqdan sonra laya vurulur. Vurulan qazın həcmi qaza görə ümumi ehtiyatın 83%-ni təşkil edir (4-cü şəkil). Bu halda lay təzyiqi başlanğıc təzyiqin 58%-i qədər aşağı düşür (4-cü şəkil), lakin yüksək qaynama qabiliyyətli karbohidrogenlərin böyük hissəsi lay qazında qalır. Ona görə də kondensatverim əmsalının proqnoz qiyməti 61% təşkil edir (4-cü şəkil).



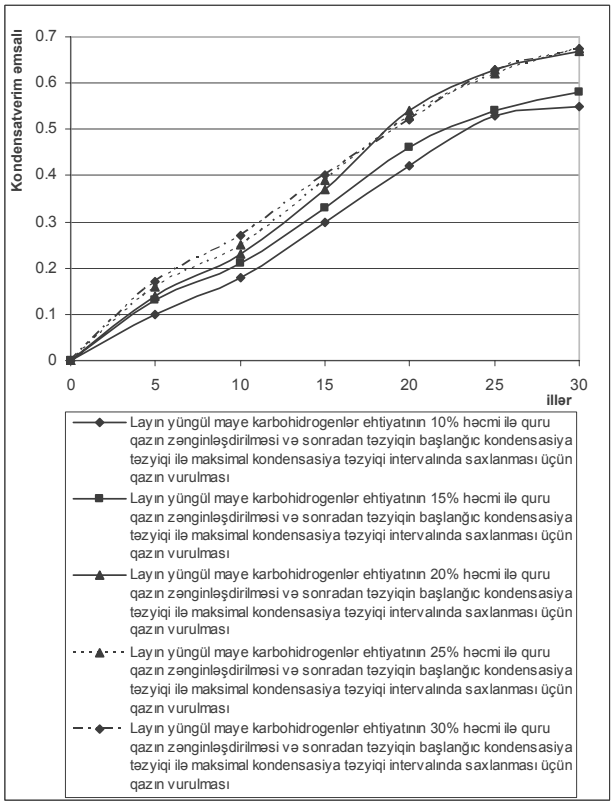

**3-cü şəkil.** Tükənmə rejimində işləyən yataqda qaz və kondensatverim əmsallarının və təzyiqin zamana görə dəyişməsi



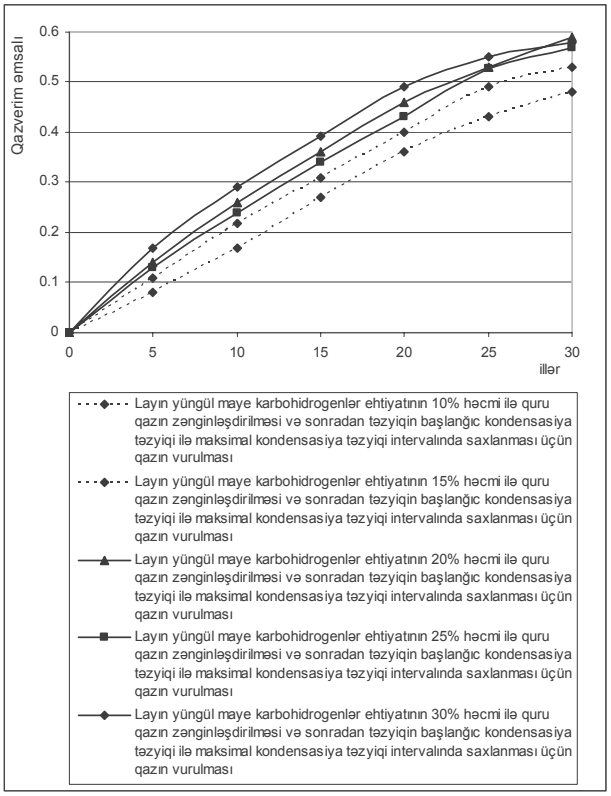

**4-cü şəkil.** Tam və hissə-hissə sayklinq-prosesdə qaz və kondensatverim əmsallarının və təzyiqin zamana görə dəyişməsi

– Üçüncü variantda laya yüngül maye karbohidrogenlərin və qazın birgə vurulması tətbiq edilir. İlkin olaraq yüngül maye karbohidrogenlərin və sonra quru qazın müəyyən təzyiq altında laya vurulması layın qaz-kondensat sistemi ilə quru qaz arasında yüngül maye karbohidrogenlər araqatının yaradılmasını və son nəticədə sıxışdırılma cəbhəsinin (xəttinin) nizamlı olmasını təmin edir. Belə ki, yüngül maye karbohidrogenlərin quru qazla təması onların buxarlanaraq qaz fazasına keçməsini və nəticədə yüngül maye karbohidrogenlərlə zənginləşmiş qazla layın qaz-kondensat sisteminin istismar quyularına tərəf müntəzəm olaraq sıxışdırılmasına impuls verilir.

Yüngül maye karbohidrogenlər araqatının ölçüləri, araqatı yaradıldıqdan sonra laya vurulan qazın həcmləri hesablamalarda böyük intervallarda dəyişdirilir (bax: 5-6-cı şək.). Yüngül maye karbohidrogenlər araqatının yaradılmasında işlənilmənin optimal variantı kimi layın yüngül maye karbohidrogenlərə görə ehtiyatının 20%-i həcmində vurulması tələb edilir. Bu halda kondensat və qazverim əmsallarının qiymətləri uyğun olaraq 0,67 və 0,59 olur (5-6-cı şək.). Bu zaman laya vurulan yüngül maye karbohidrogenlərin həcmi təxminən $64 \cdot 10^5$ ton təşkil edir.




**5-ci şəkil.** Yüngül maye karbohidrogenlər və qazın birgə vurulmasının müxtəlif nisbətlərində kondensatverim əmsalının zamana görə dəyişməsi




**6-ci şəkil.** Yüngül maye karbohidrogenlər və qazın birgə vurulmasının müxtəlif nisbətlərində qazverim əmsalının zamana görə dəyişməsi

Yüngül maye karbohidrogenlər araqatının yaradılması üçün yatağın ilkin $C_{2-4}$ ehtiyatının 10%, 15%, 25%, 30%-i həcmində laya vurulması hallarında lay təzyiqini başlanğıc kondensasiya təzyiqi ilə maksimal kondensasiya təzyiqi intervallarında saxlanılmasında vurulan quru lay qazın həcmləri -$23 \cdot 10^8$, $19 \cdot 10^8$, $15.5 \cdot 10^8$, $14 \cdot 10^8$ $m^3$ (7-ci şəkil), uyğun layın kondensat və qazverim əmsalları müvafiq olaraq 0,55, 0,48; 0,58, 0,53; 0,673, 0,57; 0,674, 0,58 olmuşdur (5-6-cı şək.). Baxılan bütün hallarda yüngül maye karbohidrogenlər və qazın birgə vurulmasının reallaşmasında işlənilmə prosesi 30 ilə qədər davam etmişdir. Bu işlənilmə müddəti ərzində layda işləyən istismar quyularının hamısında kondensata görə hasilat, demək olar ki, kifayət qədər azalmış və işlənilmə prosesinin kondensatverimin artırılması baxımından aparılması səmərəliliyini itirmişdir.

## NƏTICƏ

Qaz-kondensat yataqlarında yüngül maye karbohidrogenlər və qazın birgə vurulması yolu ilə işlənilmiş texnoloji üsul layların kondensatverimini artırmaq və lay təzyiqini başlanğıc kondensasiya təzyiqindən aşağı və maksimal kondensasiya təzyiqindən yuxarı təzyiq intervalında saxlamaqla ənənəvi Sayklinq-proses və hissə-hissə Sayklinq-proses ilə müqayisədə laya vurulan "quru" qazın tələb olunan həcminin azaldılmasına imkan vermişdir.

## ƏDƏBİYYAT

АЗИЗ, Х., СЕТТАРИ, Э. 1982. Математическое моделирование пластовых систем. Недра. Москва. 407 с.

БРУСИЛОВСКИЙ, А.И. 2002. Фазовые превращения при разработке месторождений нефти и газа. Грааль. Москва. 575 с.

ГУРЕВИЧ, Г.Р., СОКОЛОВ, В.А., ШМЫГЛЯ, П.Т. 1976. Разработка газоконденсатных месторождений с поддержанием пластового давления. Недра. Москва. 186 с.

ЗАКИРОВ, С.Н. 1998. Разработка газовых, газоконденсатных и нефтегазоконденсатных месторождений. Струна. Москва. 628 с.

ЗАКИРОВ, С.Н., ВАСИЛЕВСКАЯ, Е.И., ТАЛДАЙ, И.В., ГОРДОН, В.Я. 1989. Технология вторичной добычи конденсата из частично истощенной газоконденсатной залежи. Препринт №2- ИПНГ. Москва. 59 с.

ЗАКИРОВ, С.Н., СОМОВ, Б.Е., ГОРДОН, В.Я., ПАЛАТНИК, В.М., ЮФИН, П.А. 1988. Многомерная и многокомпонентная фильтрация: Справочное пособие. Недра. Москва. 335 с.

КОНДРАТ, Р.М. 1992. Газоконденсатоотдача пластов. Недра. Москва. 255.

НИКОЛАЕВСКИЙ, В.Н., БОНДАРЕВ, Э.А., МИРКИН, М.И., СТЕФАНОВА, М.Г., ТЕРЗИ, В.П. 1968. Движение углеводородных смесей в пористой среде. Недра. Москва. 173 с.

РОЗЕНБЕРГ, М.Д., КУНДИН, С.А. 1976. Многофазная многокомпонентная фильтрация при добыче нефти и газа. Недра. Москва. 315 с.

ФЕЙЗУЛЛАЕВ, Х.А., РЗАЕВА, В.Г. 2001. Адаптация гидродинамической модели по данным истории разработки газоконденсатной залежи. *Изв. НАНА. Науки о Земле*, 2, 19-21.

ROBINSON, D., PENG, D., NG, H. 1978. Capability of the Peng-Robinson programs. *Hidrocarbon Processing*, 4, 95-98.

***Məqaləyə Azərbaycan MEA-nın müxbir üzvü Q.İ.Calalov və t.e.d. X.A.Feyzullayev rəy vermişlər.***

# КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

© А.А.Фейзуллаев, Ч.С.Алиев, Р.Дж.Багирли, Ф.Ф.Махмудова, 2015

## ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА УРОВНЯ КОНЦЕНТРАЦИИ РАДОНА В ТЕРМАЛЬНЫХ ВОДАХ ТАЛЫША (АЗЕРБАЙДЖАН)

**А.А.Фейзуллаев, Ч.С.Алиев, Р.Дж.Багирли, Ф.Ф.Махмудова**

*Институт геологии и геофизики НАН Азербайджана*
*AZ1143, Баку, просп. Г.Джавида, 119*

В статье приводятся результаты впервые выполненной оценки уровня радона в термальных водах Талышского региона. Исследование 9 естественных выходов воды в 7 термальных источниках позволило установить изменение значений радона в очень широких пределах – от 3,73 до 93,3 Бк/л, что характерно для грунтовых вод. Источники классифицируются как слаборадоновые. Отмечается зависимость содержания радона от газового состава/газонасыщенности воды: относительно низкие содержания радона характерны для азотных, наиболее высокие – углекислых и промежуточные значения – метановых вод. Расчетная глубина водоносных горизонтов не превышает 2,4 км. По санитарно-гигиеническим нормам содержания радона термальные воды Талыша не представляют опасности для здоровья населения при приеме ванн и использовании в качестве питьевой воды, за исключением источника Бюлюдюл в Ярдымлинском районе. В воде этого источника содержание радона более чем в 1,5 раза превышает предельно-допустимую концентрацию, принятую для питьевой воды.

### Введение

Радон — самый тяжелый радиоактивный элемент нулевой (VIIIA) группы периодической системы. Все изотопы радона радиоактивны и довольно быстро распадаются: самый устойчивый изотоп $^{222}$Rn, образующийся при делении ядер $^{238}$U, имеет период полураспада 3,8 сут., а второй по устойчивости $^{220}$Rn (торон), образующийся при делении ядер $^{232}$Th, – 55,6 с.

В зависимости от геологических и гидрогеологических условий в подземной среде формируется широкий спектр концентрации радона. Наряду с районами с пониженными фоновыми концентрациями радона в водах, существуют территории с весьма высокими его содержаниями. Такие территории обнаружены в Бразилии, Индии, Канаде. Родники с высокими концентрациями радона известны в Иране. Повышенными фоновыми концентрациями радона характеризуются Скандинавские страны. Многочисленные зоны с высокой концентрацией радона в водах выявлены в США. Зоны с концентрацией радона в воде в 300-400 Бк/л обнаружены в России.

В Азербайджане исследования содержания радона в подземных водах практически не проводились. Из литературы известны лишь упоминания о радоновых водах в Шамахинском районе (источник «Мыльные воды» в Чухурюрде). Такое положение дел было связано главным образом с отсутствием необходимой аналитической аппаратуры для измерения радона в воде непосредственно в месте его выхода на поверхность. В последние годы в рамках грантовых проектов Институтом геологии и геофизики НАНА была приобретена необходимая современная техника, впервые опробованная в 2014 г. на примере термальных источников Талыша. Результаты этих исследований приводятся в данной статье.

### Методика исследований

Определение концентрации радона в образцах воды осуществлялось с помощью радонометра RAD-7 с диапазоном измерений 4-400000 Бк/м$^3$. Для измерения содержания радона проба воды отбиралась в сосуд объемом 250 мл. Во избежание ошибок в измерении содержания радона в воде отбор образца воды осуществлялся так, чтобы он не контактировал с воздухом. Отобранные пробы воды с помощью насоса в течение пяти минут подвергались процессу аэрирования, что способствовало выделению более 95% содержащегося в образце воды радона, который затем доставлялся в RAD-7. Через 30 минут по-

сле запуска RAD-7 автоматически на основании результатов четырех 5-минутных циклов замеров определял среднее содержание радона.

### Гидрогеологическая характеристика района исследования

Минеральные и термальные источники можно рассматривать как месторождения полезных ископаемых, воды которых формируются в различных геологических условиях, определяя многообразие их химического и газового состава, а также температуры воды.

Талышский регион занимает самую крайнюю ЮВ часть Азербайджанской республики и орографически делится на Лянкяранскую низменность и Талышскую складчатую зону. Лянкяранская низменность представляет собой наклонную равнину, значительная часть которой имеет отрицательные гипсометрические отметки. В тектоническом строении Талышской зоны выделяются Астаринский и Буроварский антиклинории, сложенные преимущественно эоценовыми вулканогенными комплексами, а также Лерикский, Ярдымлинский и Джалилабадский синклинории, представленные олигоцен-миоценовыми комплексами (рис.1).

Минеральные воды Талыша характеризуются большим разнообразием условий формирования и, соответственно, ионно-солевого состава, степени минерализации, температуры, ресурсов. Благодаря расположению Талыша на границе Малокавказско-Эльбурсской системы с Куринско-Южно-Каспийским прогибом, минеральные источники этой части Азербайджана по своему характеру отражают переход от вод, типичных для Малого Кавказа, к водам, свойственным Куринскому прогибу. Согласно М.А.Кашкаю (1952), наблюдается зависимость физико-химических свойств вод минеральных источников от геолого-гидрогеологических условий. Так, в областях развития более молодых осадочных отложений распространены преимущественно гидросульфидные воды, а в областях, где развиты вулканогенные породы, воды в основном углекисло-щелочные.

По геотермическим условиям Талыш характеризуется аномальным тепловым режимом, обусловленным его геолого-структурными особенностями и молодыми вулканическими процессами. Здесь имеется свыше 30 групп источников, куда входят Астаринские, Лянкяранские и Масаллинские (Аркеванские) группы источников (Кашкай, 1952; Аскеров 1954; Бабаев, 2000).

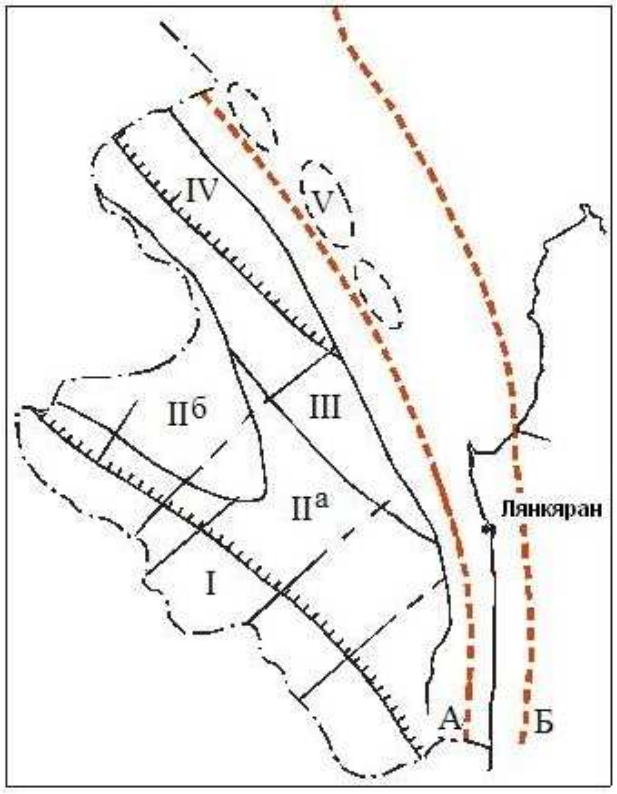



**Рис. 1.** Схема тектонического районирования Талышского региона:
I – Астаринский антиклинорий; IIа – Лерикский синклинорий;
IIб – Ярдымлинский синклинорий; III – Буроварский антиклинорий;
IV – Джалилабадский синклинорий; V – Южно-Муганское поднятие;
А – Предталышский разлом; Б – Западно-Каспийский разлом

В *Астаринском антиклинории* к различным тектоническим нарушениям приурочено более 30 выходов минеральных вод (МВ) (включая исследованный источник *Алаша-Истису*). Общий дебит источников, температура которых изменяется в пределах 12,4-50°С, составляет 3,5 млн. л/сут.

Месторождение МВ *Алаша-Истису* расположено вблизи границы с Ираном в долине небольшой речки Истисучай, в 9 км к западу от г. Астара. В районе месторождения развиты породы палеогена (преимущественно эоцена), представленные как вулканогенными породами (базальты, андезиты и тешениты), так и туфогенно-осадочными песчаниками, алевролитами и аргиллитами. Здесь выявлено 16 источников, из которых 6 каптированы. Общий суточный дебит источников – около 1 млн. литров, а температура воды изменяется в пределах 32-48,5°С (Бабаев, 2000). В день нашего измерения температура была выше и равнялась 51,4-52,0°С.

В *Лерикском синклинории* к различным тектоническим нарушениям в отложениях эоцена приурочено около 80 выходов МВ (включая исследованный источник *Бюлюдюл*) с общим дебитом воды более 8 млн. л/сут. и температурой воды 13-47,3°С.

Месторождение МВ *Бюлюдюл* находится в лесу на расстоянии 1 км от одноименного села. Здесь зафиксировано 2 естественных выхода, расположенных на левом берегу реки Алар на расстоянии 2,5 м друг от друга. Эти единственные во всем Талышском регионе МВ, насыщенные углекислым газом (82-90%), приурочены к туфогенно-осадочным и вулканогенным породам эоцена. Температура воды достигает 13,1-13,4°С, общий дебит составляет около 200000 л/сут.

В *Буроварском антиклинории* к различным тектоническим нарушениям в алевритопесчаном горизонте верхнего эоцена приурочено более 40 выходов МВ (включая исследованные источники *Донузутен и Готурсу-Янардаг*) с суммарным дебитом воды около 8 млн. л/сут. и температурами воды 16-61,1°С.

Месторождение МВ *Донузутен* (лечеб. источник Истису-Масаллы, транспортируемый по трубопроводу), расположенное на правом берегу р. Виляшчай, сложено толщей верхнеэоценовых плотных туфопесчаников и темных аргиллитов, смятых в складки. Выходы МВ приурочены к небольшому сбросу (с амплитудой 2 м) и системе трещин, которые сопровождаются выделением газа (метана) и пара. Температура воды достигает 61-64°С. Температура воды на источнике Истису, поставляемой по трубопроводу, существенно ниже и равна 46,1$^0$С. Суточный дебит воды составляет 1600000 литров.

Месторождение МВ *Готурсу-Янардаг* расположено на правом берегу р. Виляшчай, где среди речных валунов отмечено более 20 выходов воды, обильно выделяющих газ (метан). Газ, выделяющийся из двух основных выходов, при поднесении к нему огня легко воспламеняется и горит голубоватым пламенем, в связи с чем среди населения этот источник известен как «Янардаг» («Горящая гора»). Эти выходы МВ относятся к самым высокотемпературным в Азербайджане (Бабаев, 2000), температура воды изменяется в пределах 63,9-66,1°С при суммарном дебите воды около 4 млн. л/сут.

**Результаты исследований**

В общей сложности уровень интегральной радиоактивности и содержание радона в воде было изучено в 9 поверхностных проявлениях 7 термальных источников Талыша, расположенных в пределах Массаллинского, Ярдымлинского, Лерик-Лянкяранского и Астаринского районов. Результаты выполненных измерений приводятся в табл. 1.

**Обсуждение результатов**

Содержание радона в природных водах колеблется в широких пределах. В обычных питьевых и речных водах содержится около 3,7 Бк/л, в морской воде – 1,11 Бк/л. Концентрация 0,37 Бк/л характерна для озер и рек, концентрация 3,7-370 Бк/л — для грунтовых вод. Концентрацию порядка 37 Бк/л часто определяют в водопроводной воде из артезианских скважин. Однако в водах некоторых артезианских скважин, минеральных и термальных источников концентрации радона бывают высокими (Радон, http://profbeckman.narod.ru/RH0.files/10_2.pdf).

Впервые осуществленная оценка содержания радона в термальных водах Талыша показала, что его значения изменяются в широких пределах – от 0,83 до 93,3 Бк/л, которые хорошо согласуются с приведенными выше данными, характерными для грунтовых вод.

*Факторы, определяющие уровень концентрации радона в воде*

Эманирование – выделение радона породами, содержащими материнский элемент, зависит от температуры, влажности, литологии и структуры породы и меняется в больших пределах. Самостоятельная миграция радона возможна на незначительные расстояния, более интенсивный вынос его на значительные дистанции осуществляется по высокопроницаемым зонам (разломам, тектоническим нарушениям) в растворенном в воде состоянии или в смеси газов.

Важно отметить, что ранее для другого радиогенного газа минеральных источников Азербайджана – гелия была установлена зависимость его концентрации от газового состава вод (рис.2А) (Фейзуллаев, Гулиев, 1977).

**Таблица 1**

Уровень интегральной радиоактивности, содержание радона и температура в термальных источниках Талыша (на июнь 2014 г.)

| № | Источник | Координаты | Интегр. радиоактивность, мкР/час | Т,°С | Радон, Бк/л | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Макс. | Мин. | Сред. |
| 1 | Истису (Масаллы) – вне очага | N 38,96815° E 48,54462° | 10-12 | 46,1 | 3,73 | 0,834 | 2,62 |
| 2 | Донузутен (Масаллы) | N 38,96621° E 48,54346° | - | 61 | 7,51 | 2,99 | 5,95 |
| 3 | Алаша-Истису (Астара): а) у выхода | N 38,45085° E 48,76605° | 12 | 51,4 | 8,64 | 8,35 | 8,50 |
| | б) очаг (скважина) | N 38,45132° E 48,76212° | 15 | 52,0 | 11,3 | 8,69 | 9,46 |
| 4 | Янарбулаг (Астара) – вне очага | N 38,49197° E 48,83166° | 7-8 | 16,4 | 11,6 | 9,01 | 10,1 |
| 5 | Истису–санаторий (Лянкяран – Лерик) | N 38,76680° E 48,75895° | 8-10 | 39,5 | 17,3 | 11,2 | 14,2 |
| 6 | Готурсу-Янардаг (Масаллы) | N 38,96174° E 48,53035° | 8-10 | 63,9 | 20,3 | 6,26 | 13,9 |
| 7 | Бюлюдюл (Ярдымлы): а) нижний выход | N 38,82759° E 48,31700° | не измер. | не измер. | 72,1 | 62,6 | 66,6 |
| | б) очаг | N 38,82684° E 48,31712° | 17-18 | не измер. | 93,3 | 86,1 | 90,6 |

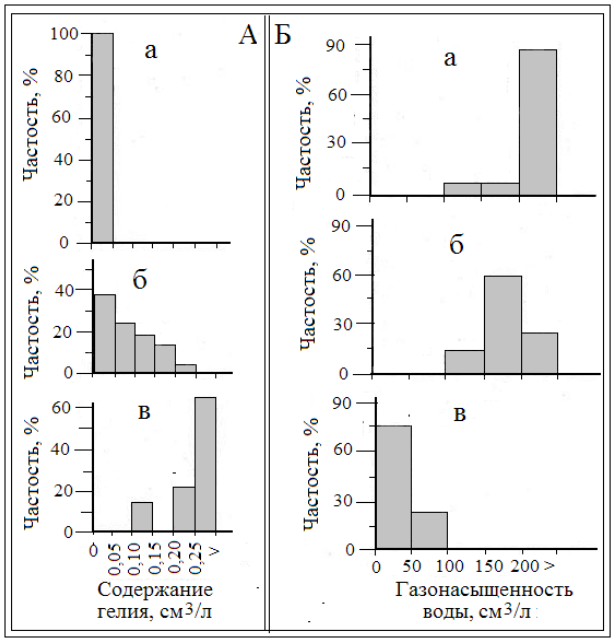



**Рис. 2.** Гистограммы распределения значений содержания гелия ($см^3/л$) (А) и газонасыщенности вод минеральных и термальных источников (Б) Азербайджана: а – азотные воды; б – метановые; в – углекислые

Для объективной оценки зависимости концентрации радона, растворенного в термальных водах Талыша, от состава газа объем данных не является статистически значимым. Тем не менее, проведенный анализ дает основание утверждать о наличии определенной корреляции между этими параметрами в исследованных источниках Талыша. Самая высокая концентрация радона была установлена в воде, насыщенной углекислым газом (источник Бюлюдюл, Лерикский синклинорий), а самые низкие его концентрации – в воде, содержащей азот (например, источник Алаша, Астаринский антиклинорий). Для метановых источников более характерны средние концентрации радона (например, источник Готурсу-Янардаг, Буроварский антиклинорий). Этот факт можно объяснить:

*во-первых*, различной газонасыщенностью вод: азотные воды, как правило, характеризуются наименьшей газонасыщенностью, метановые воды – средней и углекислые воды – наибольшей газонасыщенностью. Для минеральных и термальных вод Азербайджана максимальные

значения этого параметра достигают соответственно 90 $см^3$/л, 300 $см^3$/л и 10 000 $см^3$/л (рис. 2Б) (Гулиев, Фейзуллаев, 1977);

*во-вторых*, тем, что как гелий, так и радон присутствуют в газовой смеси в виде микроконцентраций и, естественно, интенсивность их выноса на поверхность определяется интенсивностью потока основных газовых компонентов ($CO_2$, $CH_4$ или $N_2$), являющихся для них транспортером (носителем).

Уровень концентрации радона играет заметную роль в формировании интегральной радиоактивности воды, поскольку выявлена тенденция прямой зависимости между этими двумя параметрами (рис. 3).

Представляет интерес также выявленная тенденция увеличения концентрации радона с увеличением температуры воды (рис. 4). Эта зависимость более контрастна и объективна в случае проведения замеров непосредственно в месте природного выхода воды, а не в месте искусственно созданного выхода путем транспортировки по трубопроводу, что сопровождается тепловыми потерями и в большей мере потерями радона (см. рис. 4).

*О глубине источника радоновой воды*

Дальность миграции радона определяется его периодом полураспада. Поскольку этот период не очень велик, дальность миграции радона не может быть большой. Как правило, радон мигрирует в водной среде, и поэтому представляет интерес оценка глубины источника воды.

На сегодняшний день нет четких критериев количественной оценки глубины очага воды. Учитывая, что температура недр увеличивается с глубиной, температура воды источника в определенной мере может использоваться как относительный показатель ее глубинности. При этом следует отметить участие и других факторов, влияющих на формирование температурного режима источника, таких как: характер разреза, литофациальная характеристика слагающих его пород, степень, объемная скорость водного потока, степень смешивания относительно холодных поверхностных и высокотемпературных глубинных вод, поступающих по глубинным разломам.

Ориентировочную количественную оценку глубины источника воды можно рассчитать по данным бурения скважин на водоносные горизонты. В Талышском регионе для оценки запасов минеральных вод был пробурен ряд скважин глубиной 312-1013 м, результаты их исследований приведены в монографии А.М. Бабаева (2000). Обобщение и анализ этих данных авторами настоящей статьи отражены в табл. 2 и на рис. 5 и 6.

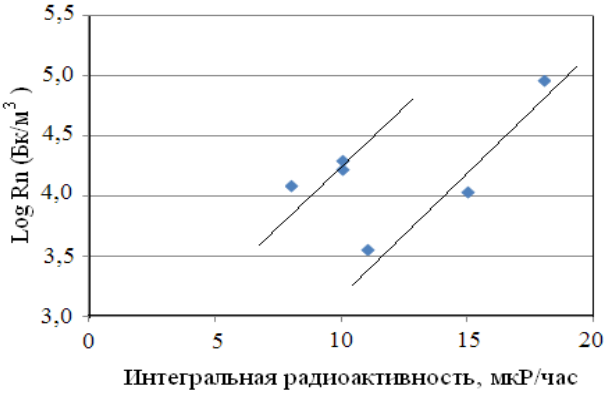



**Рис. 3.** График зависимости между содержанием в воде радона и интегральной радиоактивностью минеральных вод Талыша

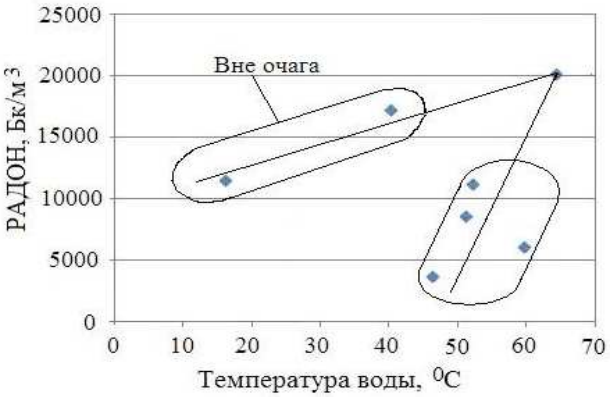



**Рис. 4.** График зависимости между концентрацией радона (максимальные значения) в термальных водах Талыша и температурой воды

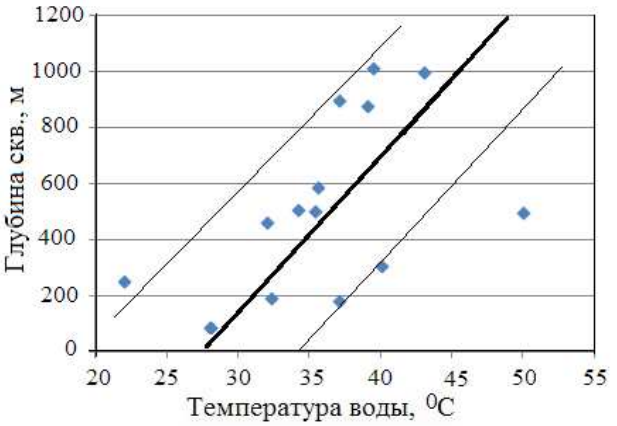



**Рис. 5.** График зависимости между температурой и глубиной скважин, пробуренных на Талыше (составлен авторами по данным А.М. Бабаева, 2000)

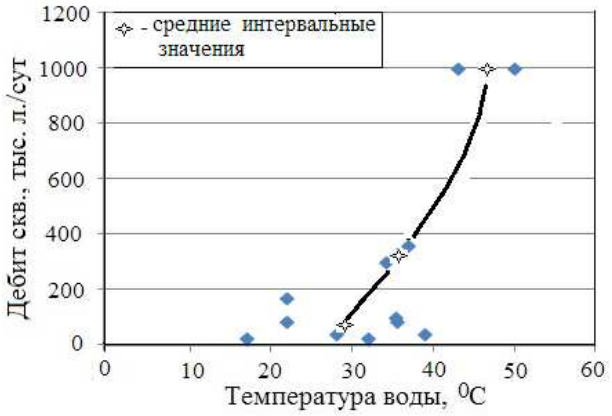



**Рис. 6.** График зависимости между температурой и дебитом термальных вод в скважинах, пробуренных на Талыше (составлен авторами по данным А.М. Бабаева, 2000)

***Таблица 2***

Данные о температуре и дебите вод термальных источников Талыша

| **Месторождение МВ** | **№ скв.** | **Глубина, м** | **Темп. воды, °С** | **Дебит, тыс. л/сут** |
|---|---|---|---|---|
| Машхан – Астаринский антиклинорий | 1 | 930* | 22 | 172,8 |
| Гавзавуа – Астаринский антиклинорий | 1 | 91** | 28 | 43,2 |
| " " | | 465* | 32 | 25 |
| Алаша – Астаринский антиклинорий | 1 | 500* | 50 | 1000 |
| Мешасу – Лерикский синклинорий | 1 | 186** | 37 | 360 |
| -"- | 2 | 589* | 35,6 | 86,4 |
| -"- | 4 | 508* | 34,2 | 300 |
| -"- | 5 | 506* | 35,4 | 101,4 |
| -"- | Глубокая | 1000* | 43 | 1000 |
| Сапнакеран – Лерикский синклинорий | - | 326** | 17 | 25,9 |
| | - | 882* | 39 | 41 |
| Шаглакуджа – Лерикский синклинорий | - | 644** | 22 | 86,4 |

* – забой скважины; **– глубина водоносного горизонта

Расчеты, выполненные, исходя из графика зависимости, приведенного на рис. 5, показывают, что максимальная глубина водоносного горизонта в Талыше не превышает 2400 м. При этом отмечается определенная связь между температурой воды (а следовательно, и глубиной ее источника) и дебитом воды (рис.6).

*Эколого-гигиеническая оценка уровня содержания радона в термальных водах Талыша*

Радон сильно токсичен, что связано с его радиоактивными свойствами. Радионуклиды радона обуславливают в среднем более половины всей дозы радиации, которую в среднем получает организм человека от природных и техногенных радионуклидов окружающей среды.

В зависимости от концентрации в окружающей среде и дозы облучения радон может оказывать как благотворное, так и вредное воздействие на организм человека. Основное поступление радиоактивных элементов в организм человека происходит за счет дыхания. По существующим оценкам 20% заболеваний раком бронхов обусловлены воздействием радона и продуктов его распада (Радон, http://profbeckman.narod.ru/RH0.files/10_2.pdf).

Заметное место в арсенале курортологии и физиотерапии издавна занимают радоновые ванны. Растворенный в воде радон (в микродозах) оказывает положительное воздействие на многие функции человеческого организма. Радоновые ванны – эффективное средство лечения заболеваний сердечнососудистых, кожных, а также нервной системы.

Иногда радоновую воду прописывают и внутрь – для воздействия на органы пищеварения (Радон, 2003). Однако как всякое сильнодействующее средство радон требует постоянного врачебного контроля и очень точной дозировки. При высоких концентрациях радона в воде, а также при некоторых заболеваниях радонотерапия абсолютно противопоказана.

При использовании радоновой воды в качестве питьевой в желудочно-кишечном тракте (ЖКТ), жировой ткани и мозге происходит накопление радона, что может привести к серьезным заболеваниям ЖКТ (Скударнов и др., 2007; WHO Handbook, 2009).

Особую опасность представляют воды некоторых родников и минеральных источников, используемых населением в качестве питьевой. Так, например, концентрация радона в родниках Медведицкой гряды, находящейся в Волгоградской и Саратовской областях России, превышает допустимые нормы для питьевой воды в 7-12 раз (Пындак, Солодовников, 2004).

В связи с этим в разных странах приняты уровни предельно допустимых концентраций (ПДК) радона в водах, которые ограничивают использование вод с высоким содержанием радона.

Для радоновых ванн применяют обычно воды с концентрацией радона 1480-2960 Бк/л (концентрация естественных радоновых вод может быть и ниже) при температуре 34-37°С. Продолжительность процедуры – 5-20 мин. При лечении детей содержание радона в воде должно быть не выше 1500 Бк/л (Радон, http:// profbeckman.narod.ru/RH0.files/10_2.pdf).

Существуют ПДК радона и для питьевой воды. Так, например, согласно нормам радиационной безопасности, принятым в 1999 году в России, предельно допустимое содержание радона в питьевой воде установлено в 60 Бк/л при отсутствии в воде других радиоактивных веществ (Ионизирующее излучение…, 1999; Нуралиева и др., 2011).

Анализ выявленного уровня концентрации радона в термальных водах Талыша позволяет заключить, что эти воды не представляют опасности для здоровья населения при принятии ванн, т.к. по существующей классификации (Костров, 1999; Нуралиева и др. 2011) они относятся к слаборадоновым.

Что же касается санитарно-гигиенической оценки пригодности этих вод для питья, то следует отметить, что в Азербайджане не регламентированы ПДК радона для питьевой воды. Если ориентироваться на принятые в России ПДК для питьевой воды (60 Бк/л), то в термальном источнике Бюлюдюл (у одноименного села Ярдымлинского р-на), насыщенном углекислым газом, концентрация радона превышает эту норму (рис. 7).

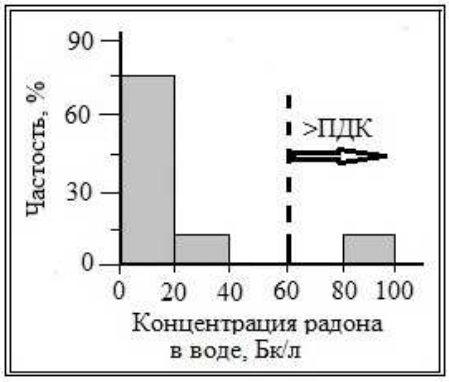



**Рис. 7.** Гистограммы распределения значений радона в термальных водах Талыша

## Заключение

Впервые оценен уровень концентрации радона в термальных водах Талыша, что позволило установить его соответствие уровню содержания радона в грунтовых водах. По существующей классификации термальные воды относятся к категории слаборадоновых вод и не представляют угрозы здоровью населения, использующего эти воды для приема ванн и в качестве питьевой воды, за исключением источника Бюлюдюл у одноименного села Ярдымлинского р-на. Содержание радона в воде этого термального источника превышает ПДК, и он не рекомендуется для использования в качестве питьевой воды.

Работы выполнены в рамках соглашения о сотрудничестве между Национальным Исследовательским Центром (CNR) Италии и Национальной Академией наук Азербайджана.

### ЛИТЕРАТУРА

АСКЕРОВ, А.Г. 1954. Минеральные источники Азербайджанской ССР. Изд. АГУ. Баку. 330 с.

БАБАЕВ, А.М. 2000. Минеральные воды горно-складчатых областей Азербайджана. Чашыоглы. Баку. 384 с.

ГУЛИЕВ, И.С., ФЕЙЗУЛЛАЕВ, А.А. 1977. О некоторых особенностях газовыделений минеральными водами Азербайджана. *Доклады АН Азерб.*, 3, 40-43.

ИОНИЗИРУЮЩЕЕ ИЗЛУЧЕНИЕ, радиационная безопасность. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99). 1999. СП 2.6.1.758-99. Минздрав РФ. Москва. 116 с.

КАШКАЙ, М.А. 1952. Минеральные источники Азербайджана. Изд. АН Азерб.ССР. Баку. 503 с.

КОСТРОВ, Д.В. 1999. Радон в воде. Проблема экологии человека. Институт Продуктивного Обучения. Санкт-Петербург. http://bagz.narod.ru/rabot.htm

НУРАЛИЕВА, У., БАХТИН, М., ЖАКЕНОВА, А., АЛТАЕВА, Н. 2011. Радиационная обстановка скважинных вод некоторых регионов Казахстана. *Вестник Казах. Нац. Мед. Университета*, 3, 170-172.

ПЫНДАК, В.И., СОЛОДОВНИКОВ, Ю.И. 2004. Мониторинг родниковых вод Медведицкой гряды. *Фундаментальные исследования*, 6, 85-86. РАДОН. http:// profbeckman.narod.ru/RH0.files/10_2.pdf

РАДОН. 2003. Популярная библиотека химических элементов. 12 Сентября. http://n-t.ru/ri/ps/pb086.htm

СКУДАРНОВ, С.Е., КУРКАТОВ, Ю, С.В., МИХАЙЛУЦ, А.П. 2007. Эколого-гигиеническая оценка хозяйственно-питьевого водопользования подземными водами в Красноярском крае. *Эко-Бюллетень ИНЭКА*, 3(122), 3-6.

ФЕЙЗУЛЛАЕВ, А.А., ГУЛИЕВ, И.С. 1977. О масштабах потерь гелия с территории Азербайджана. *Доклады АН Азерб.*, 33(7), 41-43.

WHO Handbook on indoor radon. 2009. A public health perspective. World Health Organization. WHO Press. Geneva. Switzerland.

***Рецензенты: академик А.А.Гарибов, д.г.-м.н. А.Ш.Мухтаров***