

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОСТАТОЧНОЙ ВОДЫ НА КОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ ГАЗА В ГАЗОКОНДЕНСАТНЫХ ЗАЛЕЖАХ

Г.Г.Мамедова

*Институт геологии НАН Азербайджана
Az 1143, Баку, просп. Г.Джавида, 29А*

В статье представлены результаты экспериментальных исследований влияния остаточной воды на изменение компонентного состава добываемого газа в процессе дифференциального истощения газоконденсатной залежи. При этом показано, что содержание остаточной воды существенно влияет на изменение компонентного состава добываемого газа.

Известно, что в газоконденсатных, а также и других углеводородных залежах определенную часть пористой среды занимает связанная или остаточная вода. Практика разработки таких залежей показывает, что количество остаточной – связанной воды в пластах в основном зависит от литологического состава пород и изменяется в большом диапазоне (до 40% объема пор). Остаточная вода создает на поверхности коллектора пленку в микроскопических размерах и насыщает капиллярные и некапиллярные каналы под воздействием поверхностных сил между породой и водой. Такие пластовые воды из-за наличия тесной связи с поверхностью пород считаются неподвижными с точки зрения гидродинамических аспектов, но они могут существенно влиять на фазовое поведение системы в пластовых условиях, а также показатели эксплуатации газоконденсатной залежи.

В работе (Гиматудинов, 1971) отмечено, что в зависимости от давления, температуры и состава системы в газовой фазе может присутствовать некоторое количество воды в виде насыщенного пара, образующегося в пласте в процессе восстановления термодинамического равновесия системы. По этой причине при заданном давлении с ростом температуры количество водяного пара (влажность газа) возрастает, а с увеличением давления при заданной температуре данная величина уменьшается. Кроме этих закономерностей, в системах, состоящих из углеводородов и водяного пара, была обнаружена их «двойная обратная конденсация». Этот случай, т.е. разделение системы, состоящей из

углеводородов и равновесного водяного пара, на жидкий конденсат и воду при изотермическом снижении давления, впервые был обнаружен Ван-дер-Ваальсом. Сказанное, как правило, имеет место в системах, состоящих из полярного (водяной пар) и неполярного (углеводороды) компонентов.

Анализ опубликованных работ (Гиматудинов, 1971; Гриценко и др., 1995; Shinta, Firoozabadi, 1997; Kokal et al., 2000) показывает, что наличие в пористой среде остаточной воды увеличивает ее проницаемость по углеводородному газу и конденсату. Например, в работе (Kokal et al., 2000) на основании экспериментов, проводимых на модели пласта, где пористая среда состояла из кварцевого песка, было установлено, что наличие остаточной воды уменьшает фильтрационное сопротивление при течении углеводородов через пористую среду и тем самым увеличивает ее проницаемость для газа и конденсата. Аналогичное утверждение приведено и в работе (Гриценко и др., 1995), где показано, что наличие остаточной воды до 15 % объема пор, увеличивает конденсатоотдачу пласта на 10% по сравнению с «сухой» пористой средой. Согласно заключению этих авторов, это происходит в результате снижения вязкости газовой фазы, в составе которой имеется равновесный водяной пар в указанных выше количествах. В результате анализа экспериментальных данных на керновом материале установлено, что остаточная вода в порах пласта, с одной стороны, увеличивает его проницаемость по газу и конденсату, а с другой – снижает абсолютную проницаемость пористой среды.

В работе (Гамидов, 1999) при исследовании испаряемости выпавшего в пласте конденсата под воздействием газов различного состава было установлено, что наличие в пористой среде 20% остаточной воды ухудшает показатели процесса воздействия до 4,5% по сравнению с пористой средой, где остаточная вода отсутствует.

В работе (Гиматудинов, 1971) на основании известных термодинамических законов высказываются предположения о том, что увеличение количества любого тяжелого компонента в составе системы повышает ее критическое давление. Поэтому рост количества водяного пара в системе должен привести к увеличению значения ее давления начала конденсации. Такой же вывод приведен и в работе (Гриценко и др., 1995). Здесь на примере газоконденсатных проб из месторождений Челебассовское и Майкорское показано, что величины давления начала конденсации без наличия и в присутствии воды различаются друг от друга на 1-1,5 МПа.

В работе (Shinta and Firoozabadi, 1997) показано, что постоянный контакт углеводородной системы с водой в пластовых условиях снижает конденсатосодержание газа и одновременно увеличивает количество воды по сравнению с конденсатом, которое приводит к уменьшению значения давления начала конденсации системы.

В работе (Абасов и др., 2011) всесторонне экспериментально изучены влияние количества остаточной воды на конденсатоотдачу в процессе дифференциального истощения залежей с участием пористой среды, а также показатели процесса испарения жидкого в пластовых условиях конденсата под воздействием «сухого» углеводородного газа. При создании модели пласта использован кварцевый песок различного помола. Исследования по влиянию водоносности пористой среды на конденсатоотдачу залежи проводились при температуре пласта 70-110⁰С, пористости – 0,1-0,4, плотности конденсата – 720-780 кг/м³ и содержании остаточной воды – 0-40% с использованием метода рационального планирования экспериментов. Было установлено, что рост количества остаточной воды в интервале от 0 до 40% уменьшает конденсатоотдачу пласта на 19-20%, а количество конденсата, испарившегося под воздействием

сухого газа, – на 17-18%. Одновременно была установлена параболическая зависимость между содержанием остаточной воды и конденсатоотдачей залежи и показано, что с ростом количества остаточной воды более 10-15% интенсифицируется отрицательное влияние остаточной воды на процесс в целом. Отметим, что в данной работе причина возникновения этих явлений недостаточно обоснована с физико-термодинамической точки зрения.

Как видно из приведенного выше, количество остаточной воды в фазовых соотношениях систем может влиять на показатели разработки газоконденсатных залежей и поэтому его нужно учитывать при проектировании этих залежей.

Ниже рассматривается влияние содержания остаточной воды на изменение состава и свойств газовой фазы в процессе дифференциальной конденсации газоконденсатной системы. Нами использованы экспериментальные данные, полученные на пористой модели пласта. Порядок проведения экспериментов, параметры пласта и свойства насыщающих его флюидов подробно изложены в работах (Абасов и др., 2007; Мамедова, 2010). При изучении влияния количества остаточной воды на состав и свойства углеводородных компонентов, особенно для интервала давлений 30,0-24,0 МПа, использованы эмпирические данные, на основании которых на рис.1 представлена динамика изменения газовых компонентов системы в зависимости от количества остаточной воды в пласте. При этом значение давления начала конденсации, определяемое в бомбе pVT на установке УГК-3 традиционными методами, имело максимальное значение (в пределах 27,56 МПа) в зависимости от плотности жидкой фазы. Отметим, что данная величина давления в пористой среде не определялась, имея в виду тот факт, что истинное значение давления начала конденсации системы на 20-25% выше по сравнению с определяемым в бомбе pVT. В данном случае величина давления начала конденсации, определяемая в pVT-бомбе, послужила для контроля идентичности создаваемых углеводородных систем. Здесь, принимая пористость пласта (m), плотность стабильного конденсата (ρ_k), состав системы и температуру (t) постоянными, мы нейтрализовали их влияние на данный процесс.

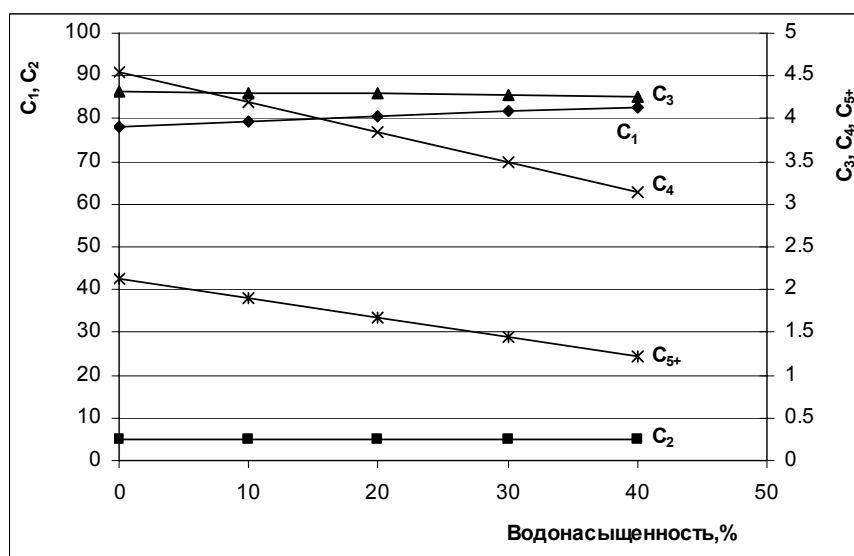


Рис. 1. Изменение состава газа в интервале давлений 30,0-24,0 МПа в зависимости от водонасыщенности пласта. Здесь $t=100^{\circ}\text{C}$, $m=0,2$, конденсатосодержание $=150\text{ г/м}^3$, $\rho_k=720\text{ кг/м}^3$

Как видно из рис.1, в рассмотренном интервале давлений с ростом остаточной водонасыщенности пласта количество метана (C₁) возрастает от 78,1 до 82,8%, а содержание сравнительно тяжелых компонентов газовой фазы снижается: C₂ — с 5,0 до 4,8; C₃ — с 4,3 до 4,2; C₄ — с 4,5 до 3,1; C₅₊ — с 2,1 до 1,2%.

Напомним, что эксперименты проводились на модели пласта длиной 0,85м с поперечным сечением $4,415 \times 10^{-3}\text{ м}^2$, общий объем пор пласта определен как $0,75 \times 10^{-3}\text{ м}^3$ (пористость 0,2). Для насыщения водой такой пористой модели пласта в количестве 40% потребуется $0,3 \times 10^{-3}\text{ м}^3$ воды. А это в свою очередь резко изменяет в системе соотношение жидкость — газ. На основании анализа экспериментальных данных показано, что при пористости пласта, равной 0,2, рост содержания остаточной воды от 0 до 40% повышает объем жидкой фазы (воды), приходящей на единицу объема газовой фазы, от 150 г/м^3 до 2937 г/м^3 . А это оказывает существенное влияние на фазовое соотношение системы и распределение жидких и газовых компонентов в пласте.

Известно, что углеводородные газы весьма слабо растворяются в водах в нормальных условиях, а при росте давления и молекулярной массы газов их растворимость значительно возрастает. Согласно (Гиматудинов, 1971), при условиях 30,0 МПа давле-

ния, температуры — 100°C количество растворенного в единице объема воды природного газа составляет около $3,3\text{ м}^3/\text{м}^3$. Принимая во внимание сказанное, легко можно понять показанные на рис.1 тенденции уменьшения тяжелых газовых компонентов с ростом количества остаточной воды в пористой среде.

Отсюда можно заключить, что из-за уменьшения содержания тяжелых газовых компонентов в системе, как результата их растворения в возрастающей водной фазе (0-40%), жирность добываемого газа, представляющая собой отношение суммы этана, пропана, бутанов и пентанов (C₂₊) к содержанию метана (C₁), т.е. C_{2+}/C_1 , должна иметь тенденцию к снижению. На рис. 2 показано изменение жирности добываемого газа в процессе дифференциальной конденсации в газоконденсатной системе в зависимости от количества остаточной воды. При этом исходные состав пористой среды и конденсатосодержание газовой фазы по ρ_k , m и t были те же самые, что и на рис.1.

Как видно из рис.2, с ростом количества остаточной воды независимо от интервала давления жирность газа, добываемого из пласта, снижается. Одновременно становится очевидным, что степень снижения жирности добываемого газа находится в зависимости от давления, так как с ростом его значения количество

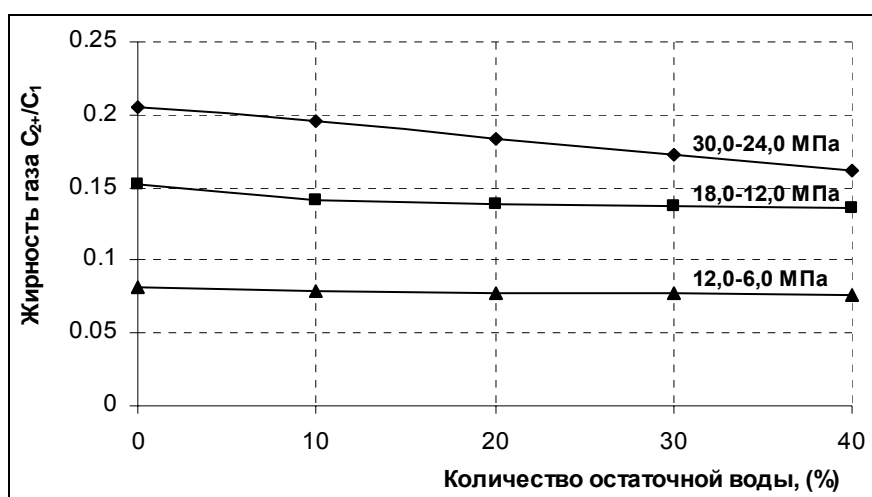


Рис. 2. Зависимость показателя жирности добываемых газов при дифференциальном снижении давления от количества остаточной воды и давления

растворенного в воде газа тоже возрастает (Гиматуллин, 1971). Как видно из рис. 2, если в интервале давления 30,0-24,0 МПа при росте обводненности пористой среды 0-40% жирность газа уменьшается от 0,205 до 0,162, т.е. на 0,043 или 21%, то в интервале давлений 12,0-6,0 МПа эта разница составляет всего 0,005 или около 1,5%.

Таким образом, впервые экспериментально исследовано влияние свойств пористой среды, насыщающих флюидов и количества остаточной воды на закономерности изменения компонентного состава добываемого газа и его жирности. При этом показано, что:

- 1) рост количества остаточной воды независимо от интервала давления приводит к увеличению содержания метана и уменьшению более тяжелых компонентов в добываемом газе;
- 2) рост давления при постоянной водонасыщенности приводит к увеличению жирности добываемого газа, в результате чего увеличивается величина давления начала конденсации системы, что приводит к уменьшению конденсатоотдачи залежи.

ЛИТЕРАТУРА

- АБАСОВ, М.Т., АББАСОВ, З.Я., ФАТАЛИЕВ, В.М., ГАМИДОВ, Н.Н., МАМЕДОВА, Г.Г. 2007. Новое о механизме фазовых превращений в газоконденсатных системах. *Азерб.Нефтяное Хозяйство*, 10, 21-28.
- АБАСОВ, М.Т., АББАСОВ, З.Я., ФАТАЛИЕВ, В.М., ГАМИДОВ, Н.Н., МАМЕДОВА, Г.Г. 2011. Экспериментальное исследование влияния различных факторов на показатели процесса истощения газоконденсатной залежи. *Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений*, 2.
- ГАМИДОВ, Н.Н. 1999. Исследование испаряемости конденсата в присутствии углеводородных и неуглеводородных газов (на примере газоконденсатного месторождения Булла-дениз). Диссер.на соиск. уч. степ.к.т.н. Фонды ИПГНМ. Баку.
- ГИМАТУЛЛИНОВ, Ш.К. 1971. Физика нефтяного и газового пласта. Недра. Москва. 310.
- ГРИЦЕНКО, А.И., НИКОЛАЕВ, В.А., ТЕР-САРКИСОВ, Р.М. 1995. Компонентоотдача пласта при разработке газоконденсатных залежей. Недра. Москва. 264.
- МАМЕДОВА Г.Г. 2010. Экспериментальное исследование влияния пористой среды на изменение углеводородного состава добываемого газа в процессе истощения газоконденсатной залежи. *Известия НАН Азербайджана. Науки о Земле*, 1, 83-88.
- SHINTA, A.A., FIROOZABADI, A. 1997. Predicting phase behavior of water/reservoir-crude systems with the association concept. *SPE, Reservoir Engineering Research inst. SPE Reservoir Engineering*, 131-137.
- KOKAL, S., AL-DOKHI, M., SAYEGH, S. 2000. Phase behavior of gas condensate/water system. *SPE Dallas Texas*, 1-4 October, 215-217.

Рецензент: академик НАН Азербайджана Г.И.Джалалов

ГЕОГРАФИЯ

© M.A.Abduev, 2011

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI ÇAY SULARININ ORTA İLLİK
MİNERALLAŞMASI VƏ KİMYƏVİ TƏRKİBİ

M.A.Abduev

*Azərbaycan MEA akad. H.Ə.Əliyev adına Coğrafiya İnstitutu
AZ1143, Bakı, H.Cavid prosp., 31*

Çay sularının minerallaşma dərəcəsi 1950-2008-ci illərin məlumatlarına əsasən hesablanaraq, məlum olmuşdur ki, çoxillik dövr ərzində təsərrüfat fəaliyyəti ilə əlaqədar onun kəmiyyəti, xüsusilə aşağı axında, 2 dəfədən çox artaraq 500 mq/l-ri keçmişdir. İlk dəfə olaraq çay hövzələrinin sahələri nəzərə alınmaqla su sərfi ilə minerallaşma dərəcəsi arasında əlaqələr qurulmuşdur. Əlaqələrdən alınmış riyazi ifadələrlə minerallaşma hesablanaraq, faktiki qiymətlərlə müqayisə edilmişdir. Yalnız 21 halda xəta $\pm 20\%$ -i üstələdiyi üçün həmin ifadələr öyrənilməmiş çayların minerallaşma dərəcəsinin qiymətləndirilməsi üçün təklif olunmuşdur. Minerallaşma dərəcəsinin artması ilə əlaqədar çay sularının kimyəvi tərkibində dəyişikliklər baş vermişdir.

Giriş

Ətraf mühitə insanların təsərrüfat fəaliyyətinin təsirinin çoxalması çay sularının keyfiyyət göstəricilərindən biri olan minerallaşma dərəcəsinin artırdığından bu proses global problemə çevrilmişdir. Hələ keçən əsrin 60-70-ci illərində dünyanın müxtəlif ölkələrində çay sularının minerallaşma dərəcəsi təbii rejimlə müqayisədə təsərrüfat fəaliyyətinin təsiri ilə 2-3 dəfə artmışdır (Леонов, 1979). Çay sularının istifadəyə daha çox cəlb olunması ilə əlaqədar axım kəmiyyətinin azalması və çaylara yüksək minerallaşmış axınların axıdılması nəticəsində bəzi göl və daxili dəniz sularının minerallaşması tədricən artmağa başlamışdır. Azov dənizində bu artım 10-13% (Леонов, 1979), Aral gölündə isə 33% (Чембарисов, 2004) təşkil edir. Çay sularının minerallaşmasının artması hidrobiontların yaşayışını pisləşdirir, sututların öz-özünə təmizlənmə reaksiyasını zəiflədir, yaşayış məntəqələrinin su ilə təminatını bahalaşdırır, çay hövzələrində suyun keyfiyyətinin idarə edilməsini çətinləşdirir, suvarma zamanı torpaqların şoranlığını artırır və s. Odur ki, çay sularının əsas keyfiyyət göstəricilərindən sayılan və ionların cəmi ilə səciyyələnən minerallaşma dərəcəsinin öyrənilməsi xüsusi əhəmiyyət kəsb edir.

Çay sularının minerallaşmasının dəyişmə-

sinə daha çox axımın başqa məcraya yönəldilməsi, suvarma, urbanizasiya, su anbarlarının yaradılması, kənd təsərrüfatı sahələrinə gübrələrin verilməsi və s. kimi təsərrüfat fəaliyyəti növləri təsir göstərir. Təsərrüfat fəaliyyəti növlərinin çay sularının minerallaşmasının dəyişməsinə təsiri axıdılan çirkab sularının miqdarından, minerallaşmasından və onların xüsusi tərkibindən asılıdır. Sübut olunmuşdur ki, (Кочева, 2007) sənaye-kommunal çirkab sularının illik həcmi ortasulu ildə müxtəlif çaylarda illik axımın 10-50%-ni təşkil edir. Kənd təsərrüfatında ən yüksək minerallaşma suvarılan sahələrin drenaj sularında müşahidə olunur. Torpaq-qruntun və grunt sularının şoranlaşma dərəcəsindən asılı olaraq drenaj sularının minerallaşması 0,5-2 q/litrə 20-30 q/litr arasında dəyişir. Heyvandarlıq kompleksləri sularının minerallaşması isə 3-6 q/litrə çatır. Minerallaşmaya sənaye və məişət sularının təsiri (Карнаухова, 1999), suvarılan sahələrin drenaj-kollektor sularının təsiri (Никитишин, 2003; Чембарисов, 2004), su anbarlarının təsiri (Халилов, 2003; Цельмович, 2006) və s. tədqiqatçılar tərəfindən öyrənilmişdir.

Tədqiqat obyektı və istifadə olunmuş
materiallar

Tədqiqat obyektı kimi respublikanın dağlıq ərazilərindən axan və üzərində hidrokimyəvi mü-

şahidələr aparılmış 89 çayın 113 məntəqəsi seçilmişdir. Çay sularının orta illik minerallaşmasını və kimyəvi tərkibini öyrənmək üçün Ekologiya və Təbii Sərvətlər Nazirliyi Ətraf Mühit üzrə Milli Monitoring Departamentinin (keçmiş Dövlət Hidrometeorologiya Komitəsi) Qarabağ və Kiçik Qafqazın cənub yamacı çaylarında 1950-1992-ci illər ərzində apardığı çoxillik müşahidə məlumatlarından, digər ərazi çaylarında isə 1950-2008-ci illərin məlumatlarından istifadə olunmuşdur.

Tədqiqat metodu

Çay sularının orta illik minerallaşması və kimyəvi tərkibinin müəyyən edilməsində qısa müşahidə sıralarının uzadılmasına imkan verən riyazi statistikanın metodları tətbiq edilmişdir. Minerallaşma dərəcəsi (C) ilə su sərfi (Q) arasındakı əlaqələrin təhlilində empirik və korrelyasiya metodları ilə yanaşı, müqayisə üsulundan da istifadə olunmuşdur.

Tədqiqatın nəticələri

Minerallaşma çayların hirdokimyəvi rejimini müəyyən edən kompleks fiziki-coğrafi şəraitlə sıx bağlıdır. Azərbaycan ərazisi özünəməxsus səth örtüyünə, iqlim tiplərinə, mürəkkəb geoloji və hidrogeoloji şəraitə, həmçinin çayların müxtəlif qida mənbələrinə malik olması ilə seçilir. Bu və ya digər amillər çayların minerallaşma dərəcəsinə təsir göstərir. Azərbaycanın tədqiq olunan çay suları əsasən orta (200-500 mq/l), qismən isə yüksək (500-1000 mq/l) minerallaşma dərəcəsinə uyğun gəlir.

Azərbaycanın çay sularının minerallaşması haqqında məlumatlar Azərbaycan SSR atlasında (1963) və S.H.Rüstəmov, R.M.Qaşqayın (Рустамов, Кашкай, 1989) əsəri ilə yanaşı Q.A.Hacıyevin (Гаджиев, 1984) regional tədqiqatında verilmişdir. Bu tədqiqatlar fasilələrlə aparılmış qısa müşahidə məlumatlarına əsasən yerinə yetirilmişdir.

1963-cü ildə nəşr olunmuş "Azərbaycan SSR atlası"nda verilmiş "Çay sularının kimyəvi tərkibi" xəritəsində minerallaşmasına görə respublikanın çay suları 150 mq/litrdən az, 150-300 mq/l, 300-500 mq/l, 500-1000 mq/l və 1000 mq/litrdən çox dərəcələrə bölünmüşdür. Həmin xəritəyə görə, 150 mq/litrdən az və 150-300 mq/litr minerallaşma dərəcəsinə malik olan sular Böyük Qafqazın, Naxçıvanın və mənbəyini Kiçik Qafqazın Murovdağ silsiləsindən götürən çay-

ların yuxarı axınında yayılmışdır. Kür və Araz da daxil olmaqla əksəriyyət çaylar mənbədən mənsəbədək bütövlükdə 300-500 mq/l minerallaşma dərəcəsinə aid edilmişdir. Minerallaşma dərəcəsi 500-1000 mq/l və 1000 mq/l-dən böyük olan sular isə yalnız Böyük Qafqazın şimal-şərq və cənub-şərq yamacından axan çayların, həmçinin Viləşçayın aşağı axınında müşahidə olunur.

Tədqiqatlar (Рустамов, Кашкай, 1989; Халилов, 2003 və s.) göstərir ki, antropogen təsirlə əlaqədar Kür və Araz çaylarında yuxarı axından mənsəbədək minerallaşma 2 dəfədən çox artaraq 800-1000 mq/litri keçir. Apardığımız tədqiqatla (Abdudev, 2004) müəyyən olunmuşdur ki, belə vəziyyət respublikanın kiçik dağ çaylarında da müşahidə olunur. Belə ki, Əlicançay, Türyançay, Göyçay, Ağsu, Ağstafaçay, Tovuzçay, Qoşqarçay, Oxçuçay və İstisu çaylarının aşağı axınlarında çoxillik dövr ərzində orta illik minerallaşmanın kəmiyyəti yuxarı axınla müqayisədə 2 dəfədən çox artaraq 500 mq/litri keçmişdir.

Qeyd edilənlərdən aydın olur ki, 50 il bundan əvvəlki epizodik məlumatlar əsasında aparılmış tədqiqatlar çay sularının minerallaşma dərəcəsinin müasir vəziyyətini əks etdirmədiyi üçün Azərbaycanın dağ çaylarının minerallaşmasının tədqiq olunmasına ehtiyac var.

Bu məqsədlə respublikanın dağ çaylarında çoxillik dövr ərzində orta illik minerallaşmanın kəmiyyəti 1950 – 2008-ci illərin stasionar müşahidə məlumatlarına əsasən hesablanmışdır. Hesablamaların nəticələri göstərir ki, çoxillik dövrdə orta illik minerallaşma 159 mq/litrlə (Nəsirvazçay) 1740 mq/litr (Ceyrankeçməz) arasında dəyişir. İlin çox hissəsində qar və buzlarla örtülü olan, çayların mənbəyi yerləşən və antropogen təsirə az məruz qalan yüksək dağlıqda çay suları əsasən kiçik və orta minerallaşmaya malik olur. Kiçik Qafqaz və Talışın çay hövzələrində çətin parçalanan vulkanogen süxurların yayılması orta illik minerallaşmanın nisbətən kiçik qiymət, Böyük Qafqazda isə təbəşir və yura dövrünün asan parçalanan süxurları qeyd edilən kəmiyyətin daha böyük qiymət alması ilə səciyyələnir. Orta dağlıqda asan həll olunan dördüncü dövrün çökmə və qumlu-gilli süxurlarının yayılması, həmçinin təsərrüfat fəaliyyətinin təsirinin güclənməsi çay sularının orta illik minerallaşmasının yüksəlməsinə səbəb olur.

Minerallaşmaya daha çox təsir göstərən torpaq örtüyü şaquli zonallıqdan asılı olaraq mən-

bədən mənşəbə doğru dəyişir. Respublikanın dağlıq hissəsindən düzənliyə doğru torpaqların şoranlaşması artdığından çay sularının da orta illik minerallaşması mənbədən mənşəbə doğru artır. Hövzələrin hidrogeoloji xüsusiyyətlərindən, süxurların litoloji tərkibindən və antropogen təsirlərdən asılı olaraq çaylar müxtəlif minerallaşma dərəcəsinə malik olur. Kiçik Qafqaz, Naxçıvan və Lənkəranın çay hövzələrində litoloji tərkibinə görə aşınmaya davamlı süxurlar yayıldığından, burada mexaniki denudasiya materiallarının həcmi Böyük Qafqazla müqayisədə 13 dəfə azdır. Apardığımız tədqiqat (Абдеев, 2008) göstərir ki, qeyd edilən çay hövzələri mexaniki denudasiya ilə yanaşı, həm də kimyəvi denudasiyaya daha zəif məruz qaldığından, çay suları kiçik minerallaşma dərəcəsi ilə səciyyələnir. Belə ki, hövzə sahəsi və sululuğu, demək olar ki, eyni olan çayların minerallaşma dərəcəsi hövzəni təşkil edən süxurların litoloji tərkibindən asılı olaraq birbirindən kəskin fərqlənir. Məsələn, Damarcıq və Nəsirvaz çaylarının hövzə sahələri və sululuğu bərabər olmasına baxmayaraq, Böyük Qafqazın cənub yamacından axan Damarcıqın çoxillik dövr ərzindəki orta illik minerallaşması (367 mq/l) Naxçıvan ərazisindən axan Nəsirvazçayın qeyd edilən kəmiyyətindən (159 mq/l) 2,3 dəfə çoxdur. Həmin sözləri Böyük Qafqazın şimal-şərq yamacından axan Ağçay və Kiçik Qafqazın şimal-şərqindən axan Ağsuçay, həmçinin Böyük Qafqazın cənub yamacından axan Çuxadurmaz və Naxçıvan ərazisindən axan Ordubadçay haqqında da söyləmək olar. Bu çayların da hövzə sahəsi və sululuğu eyni olmasına baxmayaraq, Kiçik Qafqaz və Naxçıvan çaylarının minerallaşma dərəcəsi Böyük Qafqaz çaylarının qeyd edilən kəmiyyətiindən 1,4-1,7 dəfə kiçikdir.

Ümumiyyətlə, dağ çaylarında həm suyun minerallaşma dərəcəsinə, həm də genetik formalaşma şəraitinə görə əsasən 4 xarakterik dövr ayrılır:

1. Yaz gursululuğunun qalxma dövrü minerallaşma müntəzəm azalaraq, piki minimuma çatır;
2. Yaz gursululuğunun enmə dövrü – minerallaşma tədricən artır;
3. Payız və qış yağış daşqınları dövrü – minerallaşmanın cüzi azalması ilə müşayiət olunur;
4. Qış və yay su qıtlığı dövrü – minerallaşmanın maksimum kəmiyyəti müşahidə olunur.

Bunu tədqiq olunan çaylarda su sərfi ilə minerallaşma dərəcəsi arasında qurulmuş

əlaqələr bir daha sübut edir (şəkil). Qurulmuş əlaqələrə əsasən, ilk dəfə olaraq, respublikanın dağ çaylarının orta illik minerallaşmasını təyin etmək məqsədilə riyazi ifadələr alınmışdır. Litoloji tərkibinə görə aşınmaya davamlı süxurların yayıldığı Kiçik Qafqaz, Naxçıvan və Lənkəran ərazilərində sular zəif minerallaşmaya malik olduğundan, həmin ərazilərin hövzələrinin sahəsi 50 km²-dən kiçik olan çaylarına aid olan nöqtələr $C=f(Q)$ əlaqələrində birinci qrupda birləşmişdir. Bu qrup çayların orta illik minerallaşmasını təyin etmək üçün alınmış əlaqə aşağıdakı kimi riyazi ifadəyə malikdir:

$$C = -23,5 \ln(Q) + 199,9$$

Alınmış əlaqələrdə Böyük Qafqazın hövzəsinin sahəsi 130 km²-dən kiçik olan çayları, Kiçik Qafqaz, Naxçıvan və Lənkəranın hövzəsinin sahəsi 50 km²-dən böyük, 130 km²-dən kiçik olan çayları ikinci qrupda birləşirlər. Bu qrup çaylarda $C=f(Q)$ əlaqəsinin riyazi ifadəsi aşağıdakı kimidir:

$$C = -65,2 \ln(Q) + 296,5$$

Hövzəsinin sahəsi 130 km²-dən böyük, 700 km²-dən kiçik olan çaylar üçüncü qrupda birləşmişdir. Bu çayların orta illik minerallaşmasını təyin etmək üçün ifadəsi təklif olunur.

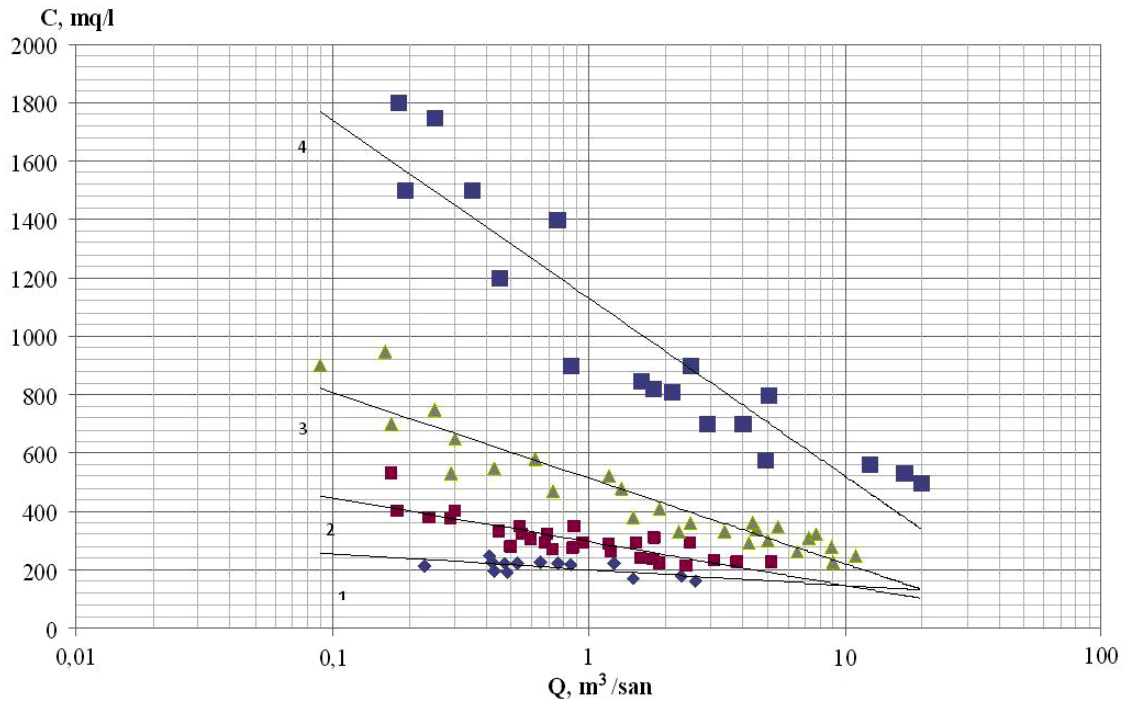
$$C = -127 \ln(Q) + 514,1$$

$C=f(Q)$ əlaqələrində hövzəsinin sahəsi 700 km²-dən böyük olan çaylar dördüncü qrupu təşkil edir. Bu qrupa aid olan çaylarda $C=f(Q)$ əlaqəsinin aşağıdakı kimi riyazi ifadəsi alınmışdır

$$C = -264 \ln(Q) + 1130$$

Alınmış ifadələrdə C-çoxillik orta minerallaşma olub, mq/litrlə, Q-isə çoxillik orta su sərfi olub, m³/s ilə verilmişdir.

Təklif olunan ifadələrlə minerallaşmanın hesablanmış qiymətlərinin faktiki qiymətlərlə müqayisəsi göstərir ki, 92 halda xəta ±20%-dən az, 21 halda isə ± 20%-dən çoxdur. Odur ki, respublikanın zəif öyrənilmiş və ya öyrənilməmiş çaylarının orta illik minerallaşmasını təyin etmək üçün bu ifadələrdən istifadə etmək olar.



Çayların minerallaşması (C) ilə su sərfinin (Q) çoxillik orta qiymətləri arasında əlaqə. 1 – Kiçik Qafqaz, Naxçıvan və Lənkəran təbii vilayətinin hövzəsinin sahəsi 50 km²-dən kiçik olan çayları; 2 – Böyük Qafqazın hövzəsinin sahəsi 130 km²-dən kiçik, Kiçik Qafqaz, Naxçıvan və Lənkəran təbii vilayətinin hövzəsinin sahəsi 50 km²-dən böyük, 130 km²-dən kiçik olan çayları; 3 – Hövzəsinin sahəsi 130 km²-dən böyük, 700 km²-dən kiçik olan çaylar; 4 – Hövzəsinin sahəsi 700 km²-dən böyük olan çaylar

Çoxillik dövr ərzində orta illik minerallaşma kimi çay sularının ion tərkibi də dəyişir (cədvəl). Respublikanın əksəriyyət çaylarında müxtəlif dərəcədə hidrokarbonat ionunun üstünlüyü müşahidə olunur. Belə ki, Kiçik Qafqazın çay sularında HCO₃⁻ ionunun orta illik miqdarı əsasən 21,9-44,1% ekv. arasında dəyişir. Daha çox çirklənməyə məruz qalan tranzit çaylarda (Ağstafaçay, Tovuzçay, Oxçuçay, Qabırır) HCO₃⁻ ionunun orta illik miqdarı 20% ekv-i keçmir. Kiçik Qafqazın digər çaylarından fərqli olaraq bu çayların sularının anion tərkibində SO₄²⁻ ionunun üstünlüyü müşahidə olunur və 17,3-33,4% ekv. arasında dəyişir. Cl⁻ ionunun orta illik konsentrasiyası Kiçik Qafqaz çaylarında 0,9-10,8% ekv arasında müşahidə olunur. Konsentrasiyanın bundan böyük kəmiyyəti tranzit çaylarda (11,7-16,0% ekv) qeyd alınmışdır. Çay sularının kation tərkibində isə Ca²⁺-un üstünlüyü aydın nəzərə çataraq 15,3-36,1% ekv. arasında dəyişir. Tranzit çaylarda və Qoşqarçayda onun miqdarı azalaraq təsadüfi hallarda 20% ekv-i keçir. Kationlar arasında miqdarının azlığı ilə seçiyələnen Mg²⁺ ionu Ca²⁺ və Na⁺+K⁺-dan sonra 3-cü

yerdə olmaqla 5,1-20,4% ekv-ə malik olur. Kiçik Qafqaz çaylarında Na⁺+K⁺ ionunun orta illik kəmiyyəti 5,6-26,3% ekv. arasında tərəddüd edir. Kationlar arasında Ca²⁺-dan sonra 2-ci yerdə olan Na⁺+K⁺-un miqdarı Ca²⁺-un azaldığı tranzit çaylarda daha böyük qiymətə malik olur (cədvəl).

Naxçıvan çaylarının kimyəvi tərkibində də anionlardan hidrokarbonat, kationlardan isə kalsiumun üstünlüyü aydın nəzərə çatır. Bu çaylarda HCO₃⁻-in çoxillik dövrdəki orta illik qiyməti 24-39,4% ekv, Ca²⁺-un qeyd edilən qiyməti isə 23-38,7% ekv arasında dəyişir. Odur ki, bu çaylar hidrokarbonat sinfinin kalsium qrupuna aiddir. Anionlardan 2-ci yerdə SO₄²⁻ (7,4-20,5% ekv), kationlardan isə Na⁺+K⁺ (6,8-19,7% ekv) durur. Mg²⁺ kationu 5,1-13,6% ekv., Cl⁻ anionu isə 1,6-8,5% ekv. çoxillik dövr ərzində orta illik qiymətə malik olur (cədvəl).

Çoxillik stasionar məlumatların təhlili göstərir ki, Böyük Qafqazın şimal-şərq yamacı çaylarının kimyəvi tərkibində anionlardan HCO₃⁻ (18,4-36,7 % ekv), kationlardan isə Ca²⁺ (17,5-30,4% ekv) üstünlük təşkil edir (cədvəl). Ərazi çaylarında şimaldan cənuba doğru bəzi ionların

orta illik konsentrasiyasının artımı müşahidə olunur. Bu artım Qaraçay – Ataçayarası ərazidə (Derkçay və Xarmidorçay istisna olmaqla) kationlardan Mg^{2+} -da, anionlardan isə Cl^- -də daha aydın nəzərə çarpır. Bunun səbəbi yəqin ki, həmin istiqamətdə süxurların xüsusiyyətinin dəyişməsi ilə izah oluna bilər.

Böyük Qafqazın cənub yamacından axan çaylar da kimyəvi tərkibinə görə hidrokarbonat sinfinin kalsium qrupuna aiddir. Lakin ərazinin qərbindəki Balakənçay, Katexçay və şərqindəki Girdimançay və Ağsuçay kimyəvi tərkibinə görə digər çaylardan fərqlənilir. Çaylarda HCO_3^- ionunun miqdarı 23,3-38,8% ekv arasında dəyişir. Kimyəvi tərkibinə görə fərqlənən Balakənçay, Katexçay, Girdimançay və Ağsuçay HCO_3^- ionunun azlığı ilə səciyyələnilir. Bu çaylarda qeyd edilən ionun çoxillik orta konsentrasiyası 13,3-19,8% ekv. kəmiyyətə malik olur (cədvəl). SO_4^{2-} ionunun orta illik kəmiyyəti tədqiq olunan çaylarda 7,9-30,0% ekv arasında dəyişir. HCO_3^- ionunun kiçik kəmiyyətilə səciyyələnilən Balakənçay, Katexçay, Girdimançay və Ağsuçaylarında SO_4^{2-} ionu daha yüksək konsentrasiyaya malik olur (24,6-35,0% ekv). Anionlar arasında daha kiçik kəmiyyətlə seçilən Cl^- ionunun konsentra-

siyası 1,1-10,9% ekv. arasında dəyişir. Böyük Qafqazın cənub yamacı çaylarında Ca^{2+} ionunun orta illik qiyməti 15,9-39,6% ekv arasında dəyişir. Bu ionun konsentrasiyasının ən kiçik qiymətləri Balakənçay, Katexçay, Girdimançay və Ağsuçaylarında müşahidə olunaraq 15,9-20,0% ekv-ə çatır. Tədqiq olunan çaylarda Mg^{2+} -un çoxillik dövr ərzindəki orta illik konsentrasiyası 6,2-13,6% ekv. arasında dəyişir (cədvəl). Apardığımız tədqiqat göstərir ki, çay sularının tərkibində Ca^{2+} kationu artdıqda Mg^{2+} -un əsasən azalması və əksi müşahidə olunur. Belə ki, Mg^{2+} ionunun minimum konsentrasiyası Ca^{2+} -un üstünlük təşkil etdiyi Hamamçay və Oğuzçayda müşahidə edilərək 6,2-6,4% ekv-ə çatır. Maksimum konsentrasiya isə Ca^{2+} -un az olduğu Balakənçay, Katexçay və Girdimançayda (14-17,6% ekv.) müşahidə edilir (cədvəl). Ərazi çaylarında $Na^+ + K^+$ kationunun miqdarı 4,1-12,7% ekv. arasında dəyişir. Mg^{2+} ionunda müşahidə olunan dəyişilmə tendensiyası $Na^+ + K^+$ ionunda da özünü göstərir. Belə ki, onun minimum kəmiyyəti Ca^{2+} -un üstün olduğu Oğuzçay, Bumçay və Hamamçayda (4,1-7,7% ekv.), maksimum kəmiyyəti isə Ca^{2+} -un az olduğu Katexçay, Balakənçay və Ağsuçayda (20,7-23,7% ekv.) müşahidə olunur.

Kation və anionların çoxillik orta qiymətləri

Ərazi və çay hövzələri	İfadə forması	Əsas ionlar					
		Kationlar			Anionlar		
		Ca^{2+}	Mg^{2+}	$Na^+ + K^+$	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-
Böyük Qafqazın şimal-şərq yamacı	% ekv	17,5-30,4	10,5-18,5	8,1-13,4	18,4-36,7	10,5-23,8	0,9-7,9
Qobustan	% ekv	18,4-19,7	9,9-18,9	12,5-20,6	7,2-12,7	28,4-37,4	3,7-8,9
Böyük Qafqazın cənub yamacı	% ekv	21,3-39,6	6,2-13,6	4,1-12,7	23,3-38,8	7,9-30,0	1,1-10,9
Kiçik Qafqaz	% ekv	21,9-44,1	5,1-20,4	5,6-26,3	15,5-40,0	10,8-15,6	0,9-10,8
Naxçıvan	% ekv	23,0-38,7	5,1-13,6	6,8-19,7	24,0-39,4	7,4-20,5	1,6-8,5
Lənkəran təbii vilayəti	% ekv	15,8-31,6	6,7-14,7	9,6-24,1	5,9-34,4	1,6-27,2	1,5-26,8
Tranzit çaylar (Ağstafaçay, Tovuzçay, Oxçuçay, Qabırçı)	% ekv	18,1-19,9	6,1-11,2	19,5-29,7	16,1-18,4	17,3-33,4	11,7-16,0
Balakənçay, Katexçay, Girdimançay, Ağsuçay	% ekv	15,9-20,0	14,0-17,6	20,7-23,8	13,3-19,8	24,6-35,0	1,1-8,9

Respublikanın digər çaylarından fərqli olaraq, Qobustan çaylarının kimyəvi tərkibində SO_4^{2-} anionunun orta illik konsentrasiyası daha yüksək kəmiyyətə (28,4-37,4% ekv) malik olur. Bu ionun maksimum kəmiyyəti (37,4% ekv) Zoğalavaçayda müşahidə olunur. Digər ərazi çaylarından fərqli olaraq, bu çaylarda HCO_3^- ionunun miqdarı kiçik olub, 7,2-12,7% ekv. arasında dəyişir. Cl^- ionunun orta illik konsentrasiyası isə 3,7-8,9% ekv. arasında tərəddüd edir. Qobustan çaylarının kation tərkibində əsasən $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ -un üstünlüyü (12,5-20,6% ekv.) müşahidə olunur. Lakin bəzi illərdə (xüsusilə Pirsatçayda) $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ və Ca^{2+} -un dəyişkən üstünlüyü müşahidə olunur. Bu çaylarda Ca^{2+} -un orta illik miqdarı 18,4-19,7% ekv. arasında dəyişir. Mg^{2+} ionunun orta illik kəmiyyəti isə 9,9-18,9% ekv. təşkil edir (cədvəl).

Lənkəran vilayəti çaylarının kimyəvi tərkibində anionlardan HCO_3^- , kationlardan isə Ca^{2+} üstünlük təşkil edir. HCO_3^- -in orta illik miqdarı 5,9-34,4% ekv., Ca^{2+} -ki isə 15,8-31,6% ekv. təşkil edir. SO_4^{2-} ionunun miqdarı 1,6-27,2% ekv., Cl^- isə 1,5-26,8% ekv., Mg^{2+} 6,7-14,7% ekv., $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ isə 9,6-24,1% ekv. arasında dəyişir (cədvəl). Bununla belə, $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ -un və Cl^- -un maksimum qiymətləri Viləşçay və İstisuçayda (müvafiq olaraq 21,4-24,1% ekv. və 17,6-26,8% ekv.) müşahidə olunur.

Beləliklə, apardığımız tədqiqat göstərir ki, Böyük Qafqazın Balakənçay-Katexçayarası və Girdimançay – Ataçayarası ərazilərinin suları daimi olaraq sulfat sinfinin natrium qrupuna, Viləşçay və İstisuçaylarının suları xlor sinfinin natrium qrupuna, Kiçik Qafqazın Qoşqarçay və tranzit çaylarının (Ağstafaçay, Tovuzçay, Oxçuçay, Qabırçı) suları ayrı-ayrı illərdə sulfat sinfinin

natrium qrupuna, digər çaylar isə hidrokarbonat sinfinin kalsium qrupuna aid olur.

ƏDƏBİYYAT

- ABDUEV, M.A. 2004. Azərbaycanın dağ çaylarının minerallaşma xüsusiyyətləri. Azərbaycan Coğrafiya Cəmiyyətinin əsərləri. IX. Bakı, 392-395.
- AZƏRBAYCAN SSR ATLASI. 1963. Bakı – Moskva, 213.
- АБДУЕВ, М.А. 2008. Сравнительный анализ механической и химической денудации в горных областях Азербайджана. *Вопросы географии и геоэкологии*. Институт Географии НАНPK, Алматы, 2, 64-67.
- ГАДЖИЕВ, Г.А. 1984. Химический сток и загрязнение рек Большого Кавказа в пределах Азербайджанской ССР. Автореф. дис.на соиск.уч.степ. канд. геогр. наук. Баку, 24.
- КАРНАУХОВА, Г.А. 1999. Оценка выноса химических элементов, поступающих в Братское водохранилище. *Водные ресурсы*, 26, 3, 335-339.
- КОЧЕВА, Н.А., БОЛЬБУХ, Т.В., АВДЮШКИНА, Е.И. 2007. Пространственная и сезонная изменчивость минерализации речных вод горного Алтая. *Известия РГО*, 139, 6, 57-64.
- ЛЕОНОВ, Е.А. 1979. Оценка изменения минерализации воды крупных рек ЕТС под влиянием хозяйственной деятельности. *Сборник работ по гидрологии*, 15, Гидрометеиздат, Ленинград, 172-183.
- НИКИТИШИН, В. И. 2003. Эколого-агрохимические основы сбалансированного применения удобрений в адаптивном земледелии. Наука. Москва. 183.
- РУСТАМОВ, С.Г., КАШКАЙ, Р.М. 1989. Водные ресурсы Азербайджанской ССР. Баку. Элм. 180.
- ХАЛИЛОВ, Ш.Б. 2003. Водохранилища Азербайджана и их экологические проблемы. Баку. 310.
- ЦЕЛЬМОВИЧ, О. Л., ОТЮКОВА, Н.Г. 2006. Изменение гидрохимического режима малой реки на водосборе Рыбинского водохранилища под воздействием антропогенных и зоогенных факторов. *Изв. РАН. Серия географическая*, 1, 129-133.
- ЧЕМБАРИСОВ, Э.И., ЛЕСНИК, Т.Ю., ЧЕМБАРИСОВА, Э.И. 2004. Гидрохимия речных и коллекторно-дренажных вод бассейна Сырдарьи. *Проблемы освоения пустынь*, 2, 20-24.

Мəqaləyə c.ə.d. F.Ə.İmanov rəy vermişdir