УДК 532.51

ОСОБЕННОСТИ НАБУХАНИЯ ГЛИН В РАСТВОРАХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ

FEATURES OF ELECTROLYTIC SOLUTIONS IN CLAYS

Г.М. Панахов, Э.М. Аббасов, А.О. Юзбашиева, В.Д. Балакчи

Институт математики и механики Национальной Академии наук Азербайджана, г. Баку, Азербайджанская Республика Институт нефти и газа Национальной Академии наук Азербайджана, г. Баку, Азербайджанская Республика

Panahov Geylani M., Eldar M. Abbasov, Afet O. Yuzbashieva, Vusale J. Balakchi

Institute of Mathematics and Mechanics, Azerbaijan National Academy of Sciences, Baku, Republic of Azerbaijan
Institute of Oil and Gas, Azerbaijan National Academy of Sciences,
Baku, Republic of Azerbaijan

e-mail: eldarab@gmail.com

Аннотация. Представленная статья посвящена исследованию процесса набухания глин в водах (пресная и дистиллированная) и растворах электролитов, в качестве которых использовались водные растворы кальцинированной соды Na_2CO_3 и раствора хлорида натрия NaCl. В качестве водной основы для приготовления растворов использовалась как пресная, так и дистиллированная вода. Лабораторные опыты на образцах бентонитовых глин проводились на приборе LSM2100 (линейный измеритель набухания), в ходе которых установлено, что с увеличением концентрации электролита в водном растворе темп набухания глины носит нелинейный характер.



Установлено, что коэффициент набухания бентонитовой глины в пресной воде превышает набухаемость в дистиллированной воде. В сравниваемых временных диапазонах лабораторного анализа при 0,5-2,0% концентрации водных растворов Na_2CO_3 и NaCl имеет место снижение набухаемости бентонитовой глины и с увеличением концентрации динамика набухания носит нелинейный характер. Темп набухания предварительно насыщенной в 1%-ом растворе NaCl глины меньше, чем набухаемость глины, насыщенной в пресной воде.

Обнаруженные эффекты необходимо учитывать при осуществлении водного воздействия на залежь, в процессе обработки призабойной зоны пласта химическими реагентами, а также при приготовлении буровых растворов на глинистой основе.

Abstract. This article is devoted to the study of the clays swelling in water (fresh and distilled) and electrolyte solutions, which used aqueous solutions of soda ash Na₂CO₃ and sodium chloride solution NaCl.

Both fresh and distilled water was used as a water base for the preparation of solutions. Laboratory experiments on bentonite clay samples were carried out on an LSM2100 labware (linear swelling meter), during which it was found that the clay swelling rate is non-linear with increasing concentration of an aqueous electrolyte solution.

It is established that the swelling coefficient of bentonite clay in fresh water exceeds the swelling in distilled water. In the compared time ranges of laboratory analysis with 0.5-2.0 % concentration of aqueous solutions of Na₂CO₃ and NaCl, the rate of swelling of bentonite clay decreases with an increase in concentration this rate is non-linear. The swelling rate of presaturated in 1.0 % NaCl solution of clay is less than the swelling of clay saturated in fresh water.

The discovered effects must be taken into account in the implementation of water impact on the reservoir and in the process of treatment of the bottomhole formation zone with chemical reagents.



Ключевые слова: набухание, глина, раствор электролитов, бентонит, щелочь, концентрация, коагуляции структур, дисперсные частицы, минералы

Key words: swelling, clay, electrolyte solution, bentonite, alkali, concentration, coagulation of structures, dispersed particles, minerals

Введение

Глинистые фракции в горных породах во многом определяют характер течения жидкостей в пористых средах и оказывают существенное влияние процессы вытеснения нефти В на глинизированных коллекторах. Важность учета физико-химических свойств глин определяется такими факторами, как сорбционные эффекты, ионный обмен, образование в разбавленных суспензиях концентрированных И тиксотропных способность структур, коагуляционных ГЛИНИСТЫХ частиц поглощать влагу из паров и растворов, пластичность в увлажненном состоянии. Глинистые минералы составляют группу слоистых и слоистокристаллы ленточных алюмосиликатов, которых имеют выраженную трехмерную структуру и характеризуются высокой степенью дисперсности (размер частиц не более 10 мкм), а в некоторых случаях набухание связано с наличием в их составе особых элементов [1, 2].

Для таких минералов важнейшей особенностью является специфика их взаимодействия с водой и водными растворами. Для некоторых типов глинистых минералов это взаимодействие протекает настолько энергично, что в результате приводит к изменению межслоевого расстояния между глинистыми частицами. Они относятся к минералам с подвижной кристаллической решеткой, наиболее типичными представителями которых являются монтмориллонит и бентонит. В соответствии с известными представлениями [2, 3], молекулы воды могут проникать



между частицами глины, формируя при этом единый ионно-гидратный слой.

Как показано в работе [4], молекулы воды образуют три основных типа связей в составе единого ионно-гидратного слоя. Один из них – гидроксильная связь донорно-акцепторного типа между водородом молекулы воды и кислородом октаэдрической сетки, который носит избыточный отрицательный заряд.

Второй тип — координационные связи между молекулами воды и внеслоевыми катионами, которые обеспечиваются природой катиона и степенью увлажнения глины. В результате увлажнения гидратированные катионы оказываются смещенными в нормальном по отношению к базальной поверхности направлении, что резко ослабляет их связь с центром отрицательного заряда решетки.

Третий тип — межмолекулярные водородные связи между молекулами воды ионно-гидратного слоя в нормальном направлении и в плоскости базальных поверхностей частиц глины.

В результате ионообменных и осмотических процессов между глинистыми минералами и растворами электролитов процесс набухания глин влияет на фильтрационное течение [5–7]. В работе [8] исследована интенсивность набухания бентонита в растворах электролитов. Было установлено, что насыщение бентонита щелочным раствором снижает объем глин в 2 раза, чем при взаимодействии глинистых минералов с пресной водой.

В работе [9] приводятся результаты экспериментов, в которых исследовались некоторые специфические свойства монтмориллонитовых глин в ходе их контакта с растворами солей. Было установлено, что набухание и другие специфические свойства глинистых минералов с лабильной решеткой определяются ее структурно-кристаллохимическими особенностями. В условиях ограниченного объема пор процесс набухания сводится к заполнению глинистыми частицами свободного пространства



пор или к обратному процессу при поступлении более концентрированного раствора.

Изоморфное замещение атомов металла в решетке глины может привести к появлению суммарного отрицательного заряда на отдельных Этот заряд компенсируется прослоях глины. катионами, существуют в области между слоями глины, известной как межслойная область. Эти межслойные катионы обладают обменными свойствами и при катионами. соответствующих условиях ΜΟΓΥΤ замещаться другими Катионообменная способность глинистых минералов зависит от размеров рH обменных Положительный кристалла, типа катионов. компенсирующий заряд ионно-гидратного слоя при ионном обмене перераспределяется, ЧТО вызывает появление сдвиговых электростатической природы, которые приводят к развороту и смачиванию поверхности силикатных слоев [9].

В термодинамическом описании такой процесс будет проявляться в изменении поверхностного натяжения на смачиваемых участках частиц при их раздвижении в ходе взаимных разворотов. В этом случае меняется один из важнейших параметров глинистой породы – микропористость [9].

В работе [10] автор показывает, что при небольших концентрациях гидроокись натрия обусловливает значительный рост набухания глин, а при больших концентрациях (1 % и более) набухание глин значительно меньше, что объясняется коагуляцией, сжатием диффузных слоев и т.д. Можно предположить, что здесь наряду с обменными процессами происходят более глубокие изменения поверхности глинистых материалов, связанные с молекулярным поглощением, хемосорбцией, поверхностным разрушением боковых граней частиц и другими поверхностными процессами. Факт необратимого снижения способности глин к набуханию после контакта с раствором гидроокиси натрия не обнаружен [10].

Замена растворов электролитов на дистиллированную воду обеспечивает значительные изменения в набухании моноионных форм



бентонита. Изменения величины набухания моноионных форм бентонита в дистиллированной воде также различны [10].

В целях исследования некоторых аспектов процесса набухания в водных растворах нами были проведены серии экспериментов по взаимодействия изучению ГЛИН различными электролитами зависимости от концентраций растворов. Температура, величина рН, (насыщенный раствор концентрация раствора хлорида натрия) выдерживались во всех опытах постоянными.

В ходе сравнительных измерений растворы электролитов готовились как на пресной, так и на дистиллированной воде. Ниже приводятся результаты экспериментальных исследований.

Экспериментальные исследования

Экспериментальные исследования по набухаемости глины (бентонитовой) проводились на приборе LSM 2100 (линейный измеритель набухания). Модель включает в себя систему автоматического измерения, компактор (уплотнитель) и программное обеспечение (рисунок 1) [11].

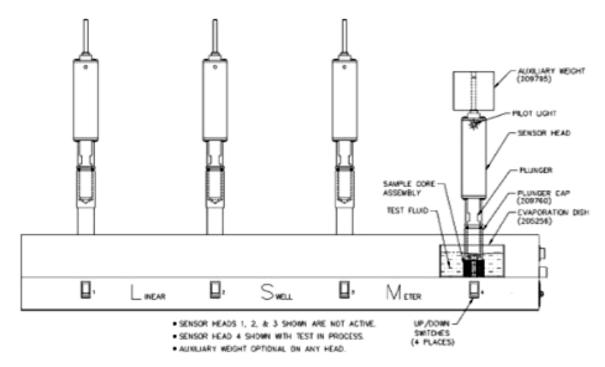


Рисунок 1. Линейный измеритель набухания глины



Система автоматического измерения оснащена четырьмя измерительными головками, которые позволяют одновременно анализировать четыре образца. Уплотнитель предназначен для уплотнения образца под давлением в виде таблетки определенного диаметра, помещаемой в стакан системы автоматического измерения (рисунок 1). обрабатываются Данные измерения специальным программным обеспечением.

Исследования проводились в следующей последовательности: толстостенный стакан вставлялся диск, затем засыпалось 20 бентонитовой глины и сверху вставлялся второй диск, который слегка уплотнялся вручную. Затем подготовленный таким образом стакан закреплялся в компакторе, давление в компакторе поднималось до 68 МПа. В результате бентонит уплотнялся до таблетки определенной толщины (порядка 1,27-1,78см). Подготовленные таким образом образцы вставлялись в специальные графитовые стаканы (закрепленные тонкими сетками и стояками для фиксации таблетки) системы автоматического измерения (САИ) и подключались к самому прибору. Стакан с таблеткой опускался в приготовленные растворы, где происходил процесс набухания бентонитовых образцов. Вертикальные изменения размеров таблетки фиксировали измерительные головки, сигнал с которых обрабатывался с помощью специального программного обеспечения. Результаты обработки отражены в виде соответствующих графиков (рисунки 2–6).

Эксперименты проводились на образцах бентонитовой глины, отобранной из образцов продуктивной толщи Сураханского месторождения (Азербайджан).

По вышеописанной методике были приготовлены глинистые таблетки, которые помещались в сосуды системы автоматического измерения и опускались в раствор щелочи Na_2CO_3 с концентрациями (C = 0.2%; 0,5%; 1%; 2%; 5%; 10%).



Для сравнения замеры были осуществлены также на пресной воде. Результаты набухаемости глины при различных концентрациях водных растворов кальцинированной соды приведены на рисунке 2. Как видно из рисунка 2, изменение набухаемости в зависимости от концентрации носит нелинейный характер. Значения набухаемости раствора щелочи, приготовленной на пресной воде при концентрациях карбоната натрия 0,5-1,0 %, меньше чем в растворах, приготовленных на пресной воде. И наоборот, при больших значениях концентрации раствора (2,0–10,0 %) набухаемость ГЛИНЫ выше, чем В растворах карбоната приготовленных на пресной воде.

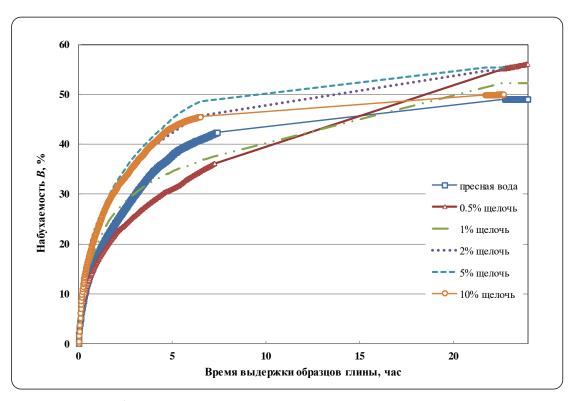


Рисунок 2. Набухаемость глины при различных концентрациях водных растворов Na₂CO₃, приготовленных на пресной воде

Во второй серии экспериментов опыты проведены на растворах карбоната натрия, приготовленных на дистиллированной воде при различных значениях концентрации C = 0.5%; 0.75%; 1%; 2%; 5%; 10%; 12%. При этом графики зависимости набухаемости глины от концентрации раствора приведены на рисунке 3.



Динамики набухания раствора Na_2CO_3 в зависимости от концентрации при различном времени выдержки образцов в щелочных растворах, приготовленных на пресной и дистиллированной воде, приведены на рисунке 4 и 5.

Третья серия экспериментов была проведена на водных растворах хлорида натрия NaCl при различных значениях концентрации (C=0,2%; 0,5%; 1%; 2%; 5%; 10%). Исследования были проведены как на сухих образцах бентонитовой глины, так и на образцах глины, предварительно насыщенной водой (набухшие навески глины). Опыты показали, что в первые 3 ч наблюдается резкий рост набухаемости глин до 30% независимо от концентрации раствора NaCl.

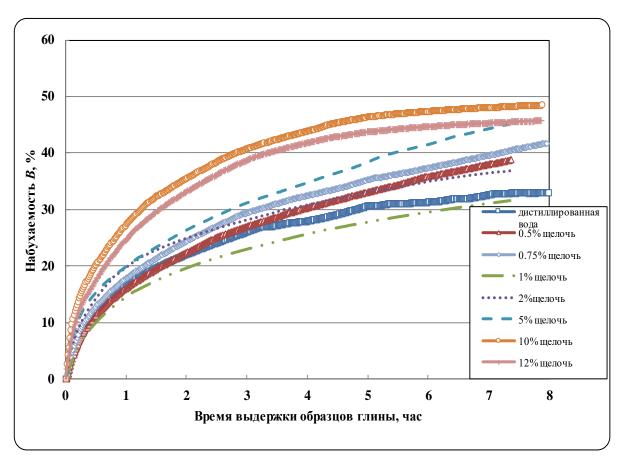


Рисунок 3. Динамика набухаемости глины при различных концентрациях водного раствора карбоната натрия, приготовленного на дистиллированной воде



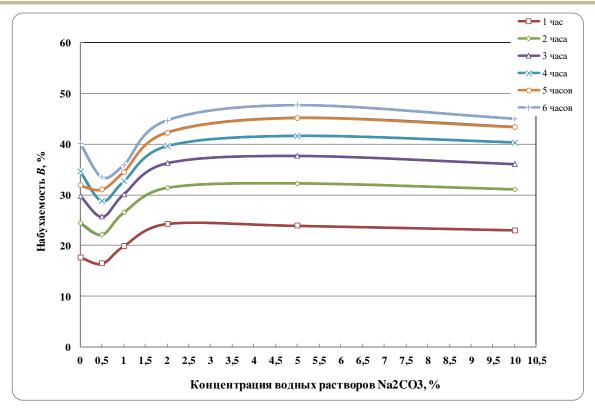


Рисунок 4. Динамика набухания глинистых навесок в растворах Na₂CO₃ различной концентрации, приготовленных на пресной воде при различных временах выдержки образцов

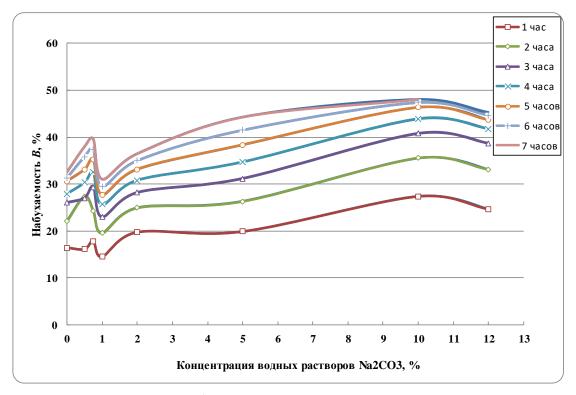


Рисунок 5. Динамика набухания глинистых навесок в водных растворах Na_2CO_3 различной концентрации, приготовленных на дистиллированной воде, в зависимости от времени выдержки образцов



Выдержка образцов глины в растворе NaCl продолжительностью 3–8 ч приводит к дальнейшему росту набухаемости глин в зависимости от концентрации раствора NaCl. Чем больше концентрация раствора NaCl, тем меньше рост набухаемости. Набухаемость предварительно набухшей глины от воздействия 1,0 %-ого раствора NaCl значительно меньше, чем водного раствора NaCl в пресной воде (рисунок 6).

Эти результаты необходимо учитывать при заводнении нефтяных пластов, содержащих глинистые включения, а также в процессе приготовления буровых растворов на глинистой основе.

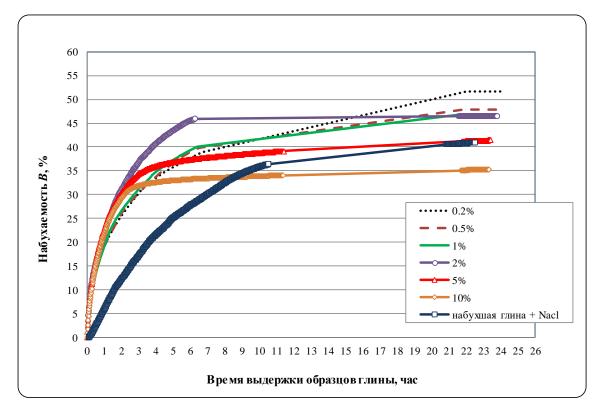


Рисунок 6. Динамика набухания образцов глины в водных растворах NaCl различной концентрации

На рисунках 7 и 8 приведены значения темпа изменения набухаемости глины в растворах электролитов различных концентраций.

При концентрации электролитов 0,5–1,0 % темп набухаемости глины уменьшается, а при увеличивающихся концентрациях темп набухания возрастает и имеет нелинейный характер (рисунки 7 и 8).



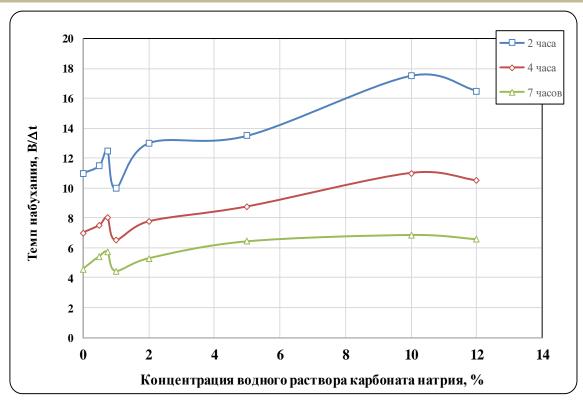


Рисунок 7. Темп набухаемости образцов глины в водных растворах Na_2CO_3 при различных временах выдержки в зависимости от концентрации карбоната натрия

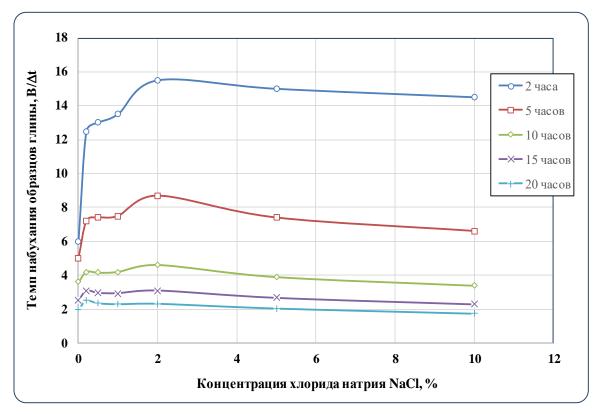


Рисунок 8. Темп набухаемости образцов глины в водных растворах Na_2CO_3 при различных временах выдержки в зависимости от концентрации хлорида натрия NaCl



Выводы

В ходе проведенных экспериментальных исследований установлено, что набухаемость бентонитовой глины в пресной воде выше, чем в дистиллированной воде.

Во всех временных диапазонах выдержки образцов в водных растворах Na_2CO_3 и NaCl при концентрациях0,5-2 % происходит снижение значений темпа набухаемости бентонитовой глины, и с увеличением концентраций растворов темп изменения набухаемости носит нелинейный характер.

Темп набухания набухшей в 1,0 %-ом растворе *NaCl* глины меньше, чем набухаемость глины, предварительно насыщенной пресной водой.

Полученные экспериментальные результаты недостаточно полно отражают происходящие в пластах изменения свойств глинистых пород при взаимодействии с водными растворами электролитов. При этом нами сделана попытка исследования некоторых аспектов внутрипластовых физико-химических реакций, наиболее адекватно отражающих течение водных растворов в глинизированных пористых средах разрабатываемой нефтяной залежи.

Полученные результаты могут быть учтены при разработке методов водного воздействия на пласт и в процессе обработки призабойной зоны пласта. Итоги экспериментальных исследований актуальны также при выборе жидкости затворения для приготовления буровых растворов на глинистой основе.

Список используемых источников

- 1. Кульчицкий Л.И., Усьяров О.Г. Физико-химические основы формирования свойств глинистых пород. М.: Недра, 1981. 178 с.
- 2. Эйриш М.В. О природе сорбционного состояния катионов и воды в монтмориллоните // Коллоидный журнал. 1964. Т. 26. № 5. С. 633-639.



- 3. Eirish M.V., Tretyakova L.I. The Role of Sorptive Layers in the Formation and Change of the Crystal Structure of montmorillonite // Clay Minerals. 1970. Vol. 8. pp. 255-266.
- 4. Федорин Р.П., Храмченков М.Г. Набухание глин и фильтрация растворов в глинах // Ученые записки Казанского государственного университета. 2010. Т. 152. С. 235-243.
- 5. Александров Б.Л. Изучение карбонатных коллекторов геофизическими методами. М.: Недра, 1979. 200 с.
- 6. Батурин В.П. Минералогический состав и нефтеотдача песков // Азербайджанское нефтяное хозяйство. 1933. № 2. С. 73-75.
- 7. Злочевская Р.И., Королев В.А. Электроповерхностные явления в глинистых породах. М.: МГУ, 1988. 177 с.
- 8. Казакова Л.В., Бородин М.П. Набухаемость горных пород при физико-химических методах увеличения нефтеотдачи // Вопросы методики изучения и освоения нефтяных залежей Пермского Прикамья в усложненных горногеологических условиях: сб. науч. тр. М.: ИГиРГИ, 1986. С. 52-60.
- 9. Храмченков М.Г., Эйриш М.В., Корнильцев Ю.А. Изучение структурных изменений и термодинамическая модель фильтрационных свойств глинистых пород // Геоэкология. 1996. №5. С. 65-73.
- 10. Городнов В.Д. Физико-химические методы предупреждения осложнений в бурении. М.: Недра, 1984. 229 с.
- 11. Instruction Manual of Linear Swell Meter, Model 2100. Manual No. 102114531, Revision D Instrument No. 102123383.



References

- 1. Kulchitskiy L.I., Usyarov O.G. *Fiziko-khimicheskiye osnovy formirovaniya svoystv glinistykh porod* [Physico-Chemical Fundamentals of Formation of Properties of Clay Rocks]. Moscow, Nedra, 1981. 178 p. [in Russian].
- 2. Eyrish M.V. O prirode sorbtsionnogo sostoyaniya kationov i vody v montmorillonite [On the Nature of the Sorption State of Cations and Water in Montmorillonite]. *Kolloidnyi zhurnal Colloid Journal*, 1964. Vol. 26, No. 5, pp. 633–639. [in Russian].
- 3. Eirish M.V., Tretyakova L.I. The Role of Sorptive Layers in the Formation and Change of the Crystal Structure of Montmorillonite. *Clay Minerals*, 1970, Vol. 8, pp. 255-266.
- 4. Fedorin R.P., Khramchenkov M.G. Nabukhaniye glin i fil'tratsiya rastvorov v glinakh [Clay Swelling and Filtration Solutions in Clays]. *Uchenye zapiski Kazanskogo gosudarstvennogo universiteta Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta*, 2010, Vol. 152, pp. 235-243. [in Russian].
- 5. Aleksandrov B.L. *Izucheniye karbonatnykh kollektorov geofizicheskimi metodami* [Study of Carbonate Reservoirs by Geophysical Methods]. Moscow, Nedra, 1979. 200 p. [in Russian].
- 6. Baturin V.P. Mineralogicheskiy sostav i nefteotdacha peskov [Mineralogical Composition and Oil Recovery of Sands]. *Azerbaydzhanskoye neftyanoye khozyaystvo Azerbaijan Oil Industry*, 1933, No. 2, pp. 73-75. [in Russian].
- 7. Zlochevskaya R. I., Korolev V. A. *Elektropoverkhnostnyye yavleniya v glinistykh porodakh* [Elektroprovodnosti Phenomena in Argillaceous Rocks]. Moscow, MSU, 1988. 177 p. [in Russian].



- 8. Kazakova L.V., Borodin M.P. Nabukhayemost gornykh porod pri fiziko-khimicheskikh metodakh uvelicheniya nefteotdachi [Swelling of Rocks at Physical and Chemical Methods of Oil Recovery Increase]. *Sbornik nauchnykh trudov «Voprosy metodiki izucheniya i osvoeniya neftyanykh zalezhei Permskogo Prikam'ya v uslozhnennykh gornogeologicheskikh usloviyakh»* [Collection of Scientific Works «Questions of Methods of Study and Development of Oil Deposits of the Perm Kama Region in Complicated Geological Conditions»]. Moscow, IGiRGI, 1986. pp. 52-60. [in Russian].
- 9. Khramchenkov M.G., Eyrish M.V., Korniltsev YU.A. Izucheniye strukturnykh izmeneniy i termodinamicheskaya model filtratsionnykh svoystv glinistykh porod [Study of Structural Changes and Thermodynamic Model of Filtration Properties of Clay Rocks]. *Geoekologiya Environmental Geoscience*, 1996. No 5, pp. 65-73. [in Russian].
- 10. Gorodnov V.D. Fiziko-khimicheskiye metody preduprezhdeniya oslozhneniy v burenii [Physical and Chemical Methods of Prevention of Complications in Drilling]. Moscow, Nedra, 1984. 229 p. [in Russian].
- 11. *Instruction Manual of Linear Swell Meter, Model 2100*. Manual No. 102114531, Revision D Instrument No. 102123383

Сведения об авторах

About the authors

Панахов Гейлани Минхадж оглы, доктор технических наук, членкорреспондент НАН Азербайджана, Институт математики и механики НАН Азербайджана, отдел «Механика жидкости и газа», г. Баку, Азербайджанская Республика

Geylani M. Panahov, Doctor of Engineering Sciences, Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Azerbaijan, Institute of Mathematics and Mechanics of Azerbaijan National Academy of Sciences, Fluid Mechanics Department, Baku, Republic of Azerbaijan

e-mail: pan_vniineft@rambler.ru



Аббасов Эльдар Мехти оглы, кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник отдела «Механика жидкости и газа», Институт математики и механики НАН Азербайджана, г. Баку, Азербайджанская Республика

Eldar M. Abbasov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Leading Researcher of Fluid Mechanics Department, Institute of Mathematics and Mechanics of Azerbaijan National Academy of Sciences, Baku, Republic of Azerbaijan

e-mail: eldarab@gmail.com

Юзбашиева Афет Октай кызы, доктор философии по физикоматематическим наукам, доцент, Отдел «Механика жидкости и газа», Институт математики и механики НАН Азербайджана, г. Баку, Азербайджанская Республика

Afet O. Yuzbashieva, PhD in Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Fluid Mechanics Department, Institute of Mathematics and Mechanics of Azerbaijan National Academy of Sciences, Baku, Azerbaijan Republic

e-mail: afa7803@rambler.ru

Балакчи Вусаля Джафар кызы, Институт нефти и газа НАН Азербайджана, Отдел гидрогазодинамики пластовых систем, г. Баку, Азербайджанская Республика

Vusale J. Balakchi, Institute of Oil and Gas, Azerbaijan National Academy of Sciences, Department of Fluid and Gas Dynamics of Reservoir Systems, Baku, Republic of Azerbaijan

e-mail: vbalakci@gmail.com