

© В.И. СЕМИХИН, Р.В. МАЛЮГИН

roma\_malyugin@mail.ru

УДК 624.131

### **ИССЛЕДОВАНИЕ АДсорбЦИИ ХЛОРИДОВ КАЛИЯ И НАТРИЯ ПРИРОДНЫМИ АДсорбЕНТАМИ: ПЕСКОМ И ТОРФОМ**

*АННОТАЦИЯ. В статье рассмотрено явление фильтрации растворов хлоридов натрия и калия через несцементированные системы адсорбентов. Приведены результаты исследования фильтрационно-емкостных свойств торфа Велижанской торфоразработки и песка. Представлена и описана экспериментальная установка и методика проведения эксперимента. Приведены экспериментальные данные, полученные при фильтрации солевых растворов различной концентрации через системы пористых адсорбентов. Содержание соли в растворе, прошедшем через образец пористой среды, оценивалось посредством измерения электропроводности, так как зависимость электропроводности от концентрации в данном случае имеет линейный характер. Была определена масса соли, адсорбируемая образцом твердой фазы из раствора. Приведены графики зависимости электропроводности раствора после фильтрации и отношение удельной поглощенной массы соли на единицу массы адсорбента в зависимости от концентрации раствора. Представлено сравнение полученных графиков для песка и торфа с различными концентрациями растворов NaCl и KCl.*

*SUMMARY. The article considers the phenomenon of filtering solutions of sodium chloride and potassium through unconsolidated adsorbent systems. It gives the results of the filtering capacity study of Velizhansky peat and sand reservoir. Here are presented and described the experimental methods and apparatus. One can see the experimental data obtained by filtering different concentrated salt solutions through porous adsorbents. The salt content in the solution that passed through a sample of the porous medium was evaluated by measuring the electrical conductivity because the dependence of the electrical conductivity on the concentration in this case is linear. The mass of salt adsorbed by sample solids from the solution was determined. The authors prove the dependence of the electrical conductivity of the solution after filtration, and the ratio of the specific weight of salt absorbed per mass unit, depending on the concentration of the solution. The resulting graph shows a comparison of sand and peat with different concentrations of NaCl and KCl.*

*КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА. Адсорбция, фильтрация, электропроводность, раствор.*

*KEY WORDS. Adsorption, filtration, electrical conductivity, solution.*

Явление фильтрации [1] представляет огромный интерес при строительстве гидротехнических сооружений [2-3], водоснабжении, при добыче нефти и газа [4]. На территории буровых станций [5-7], где происходит утилизация нефтешламов [8], возможно изменение минерального состава грунтовых вод. Наибольшую угрозу экосистемам несут водорастворимые соли, которые в процессе миграции и попутной фильтрации в осадочных породах могут попасть

в водозаборные сооружения. В связи с этим на установке (представленной ниже) было смоделировано движение солевых растворов через пористые нецементированные системы адсорбентов. Посредством измерения электропроводности можно судить какая часть солей адсорбируется в результате фильтрации через торф и песок (т.к. торфяники и песчаники — это вид почв, наиболее распространенных на территории Западной Сибири).

**Описание установки.** Для проведения экспериментов по очистке растворов методом фильтрации через пористые среды была сконструирована установка, внешний вид которой показан на рис. 1, принципиальная блок схема представлена на рис. 2 [9-10].

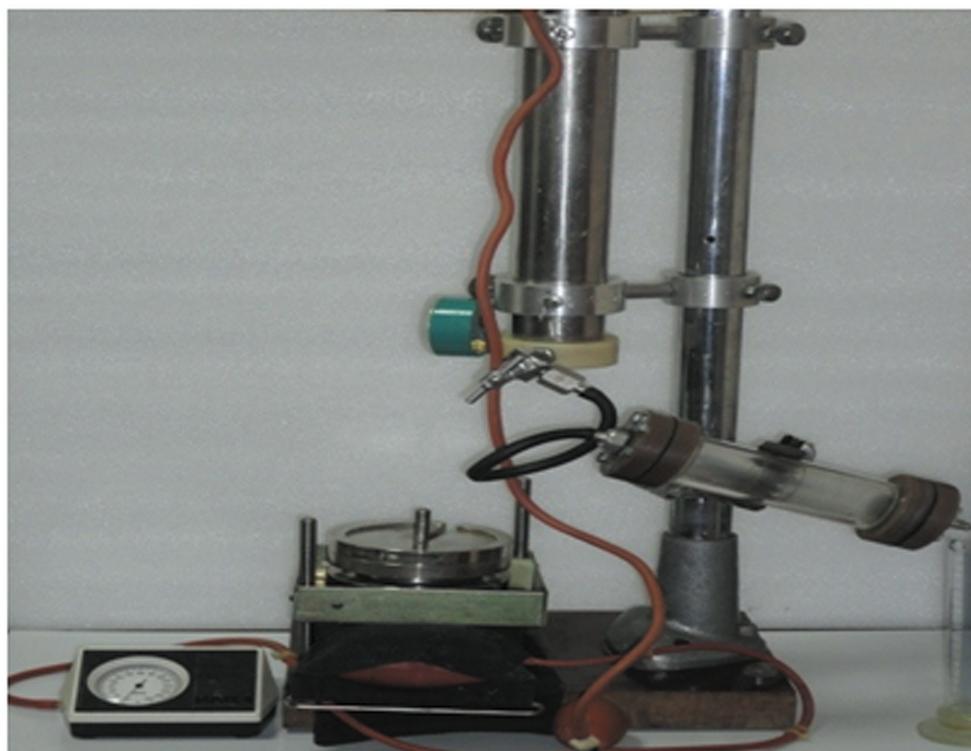


Рис. 1. Внешний вид экспериментальной установки

Экспериментальная установка по исследованию фильтрации состоит из камеры для исследования образцов твердой фазы (1), резервуара для подачи жидкости (3), вентиля (4) для регулирования расхода жидкости, упругого баллона с воздухом (5), грузов (6), манометра (7).

В качестве образца жидкой фазы использовались растворы NaCl и KCl, полученные путем смешивания с дистиллированной водой, которые заливались в резервуар для подачи жидкости (3). Далее по шлангу раствор подавался в камеру для исследования образцов твердой фазы, в качестве твердой фазы был использован торф Велижанской торфоразработки, массой 24 гр. в сухом виде и песок, массой 94 гр.

- 1 - камера для исследования образцов твёрдой фазы
- 2 - стойка
- 3 - резервуар для подачи жидкости
- 4 - вентиль
- 5 - упругий баллон с воздухом
- 6 - грузы
- 7 - манометр
- 8 - груша для закачки воздуха
- 9 - горизонтальная опора
- 10 - измерительная мензурка

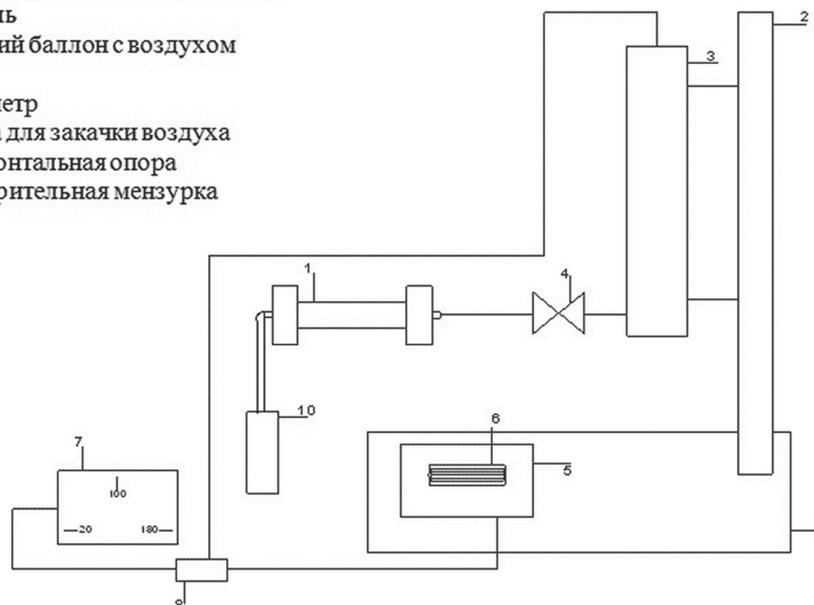


Рис. 2. Принципиальная блок схема

Для измерения электропроводности жидкой фазы использовался кондуктометр Анион-7020. Давление в системе поддерживалось при помощи упругого баллона с воздухом в интервале 2.6 ÷ 21.3 мПа, на манометре устанавливалось необходимое значение. После этого был открыт вентиль, в результате раствор поступал в камеру, вследствие чего происходил процесс фильтрации, и жидкость попадала в емкость для измерения объема вытекающего раствора (мензурку), единичная порция бралась по 50 мл.

**Результаты эксперимента.** Были исследованы процессы фильтрации растворов с 1%, 3%, 5%, 7%, и 10% содержанием солей NaCl и KCl. Зависимость электропроводности от концентрации имеет линейный характер, а значит, по изменению значения электропроводности можно судить какое количество соли адсорбировалось в процессе фильтрации. Использование неорганических солей объясняется тем, что в воде они полностью растворяются и имеют достаточно высокие значения электропроводности. Наибольший интерес представляют именно соли, которые способны растворяться в воде и могут переноситься на значительные расстояния.

Массу соли, адсорбированной торфом и песком, можно будет найти, соотнеся значения электропроводности начального раствора и уже отфильтрованного. На рис. 3-4 представлена динамика изменения электропроводности, а значит и массы соли, адсорбированной в процессе фильтрации, от количества пропущенного раствора NaCl.

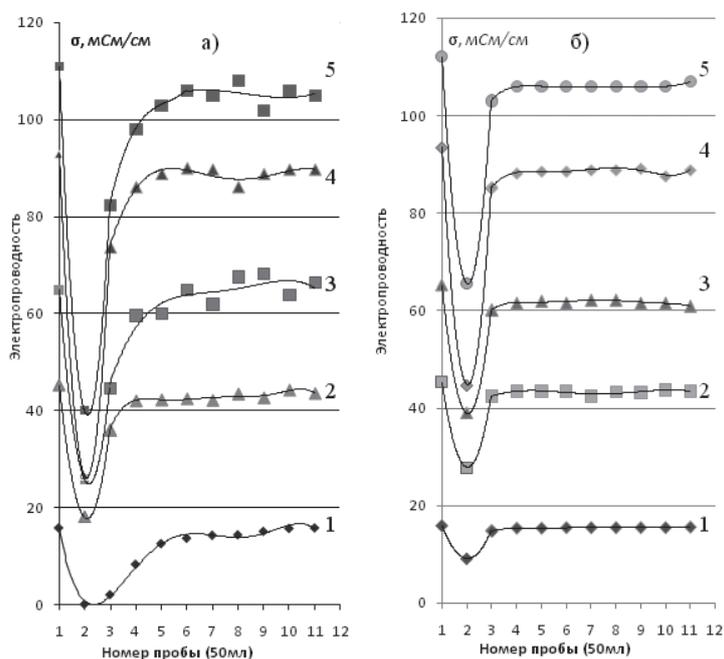


Рис. 3-4. Динамика изменения электропроводности от количества пропущенного раствора NaCl через торф (а) и песок (б) (растворы 1-1%, 2-3%, 3-5%, 4-7%, 5-10%)

Точка, соответствующая первому номеру пробы, на графике представляет начальную электропроводность раствора, до адсорбции. Резкое уменьшение электропроводности во второй пробе можно объяснить тем, что вдоль линий тока происходит интенсивное поглощение соли из раствора и постепенное насыщение поверхности адсорбента. После чего образец ведет себя уже менее активно, и величина электропроводности стремится к изначальной значению.

Поглощение соли из раствора более активно происходит при протекании жидкости через торф, поскольку удельная поверхность торфа больше.

На рис. 5-6 показано изменение электропроводности проб раствора (50 мл каждая) KCl, прошедших через образцы торфа и песка.

При сравнении графиков для различных хлоридов (рис. 3-4 для NaCl и рис. 5-6 для KCl) можно заметить, что уменьшение молекулярной массы ионов в соли сказывается на адсорбции образцом твердой фазы. Это происходит за счет более значительного скачка между первой (начальной) и второй пробой раствора. Также замечено, что при пропускании растворов KCl через торф имелось предельное значение электропроводности, а значит и концентрации во второй пробе, после чего динамика изменения  $\sigma$  принимала ожидаемый вид.

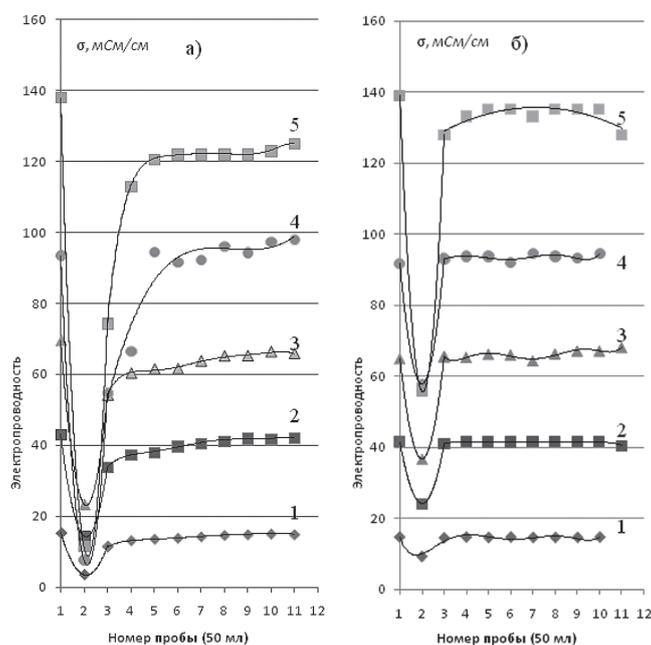


Рис. 5-6. Динамика изменения электропроводности от количества пропущенного раствора KCl через торф (а) и песок (б) (растворы 1-1% , 2-3%, 3-5%, 4-7%, 5-10%)

**Анализ экспериментальных данных.** Из полученных графиков по формуле представленной ниже можно рассчитать массу соли, поглощенной в процессе фильтрации:

$$m = \frac{\sum_{i=1}^n \sigma_i * m_0}{(\sigma_0 * n)},$$

где  $\sigma_i$  — сумма концентраций всех порций раствора, прошедших через образец торфа;  $m_0$  — масса соли, растворенной в дистиллированной воде для получения необходимой концентрации;  $\sigma_0$  — значение концентрации раствора, подготовленного для фильтрации;  $n$  — количество порций раствора, пропущенных через образец адсорбента. Полученная величина служит для оценки интенсивности процесса адсорбции соли из раствора образцом твердой фазы.

На рис. 7-8 представлены зависимости адсорбированной массы соли от концентрации солевого раствора, график песка располагается немного ниже, что объясняется меньшей активной поверхностью адсорбции. Из него видно, что чем выше концентрация раствора, тем больше соли поглощается адсорбентом.

С увеличением концентрации исходного раствора NaCl масса поглощенной соли также увеличивается. При низких значениях концентрации (<5%) зависимость для торфа медленно возрастает. Это можно объяснить тем, что при адсорбции соли из раствора в торф вдоль линий тока происходит заполнение поверхности адсорбента солью. После заполнения первого монослоя зависимость  $m(\chi)$  становится линейной, что можно объяснить увеличением адсорбционной емкости за счет уже поглощенной соли.

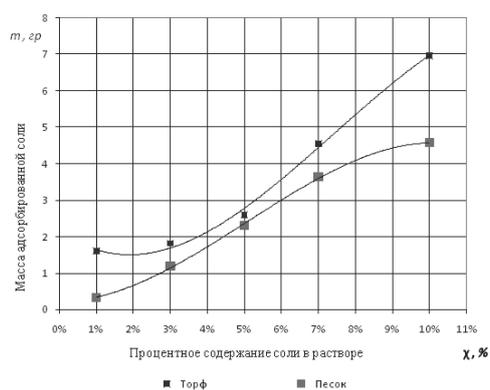


Рис. 7. Зависимость массы адсорбированной соли NaCl от концентрации раствора



Рис. 8. Зависимость массы адсорбированной соли KCl от концентрации раствора

Характер фильтрации растворов различной концентрации NaCl через песок отличается тем, что сначала масса адсорбированной соли с увеличением концентрации изменяется линейно, а после 7% изменяется менее значительно.

Для растворов соли KCl наблюдается другая зависимость. При фильтрации через торф зависимость адсорбированной соли имеет вид, который в некотором приближении можно назвать линейным. Для песка же — при значениях концентрации <7% имеет практически постоянное значение, после чего достаточно резко увеличивается.

**Закключение.** Приведенные результаты исследования фильтрационно-емкостных свойств торфа Велижанской торфоразработки и песка показывают, что при фильтрации растворов соли различной концентрации через образец твердой фазы процесс адсорбции происходит на первых трех-четыре порциях, после чего взаимодействие происходит уже не так интенсивно.

На рис. 9 представлена зависимость массы поглощенной соли NaCl на единицу массы адсорбента. Линия графика песка имеет линейный вид и располагается в интервале значений до 0,05. Изменение  $\Delta m$  для торфа имеет более сложное распределение. Причем интервалы значений при фильтрации через торф и песок различны для данной соли.

При адсорбции соли KCl, представленной на рис. 10, значения  $\Delta m$  при концентрациях до 7% располагаются в одном интервале, после чего прогнозируемо возрастают на адекватные величины.

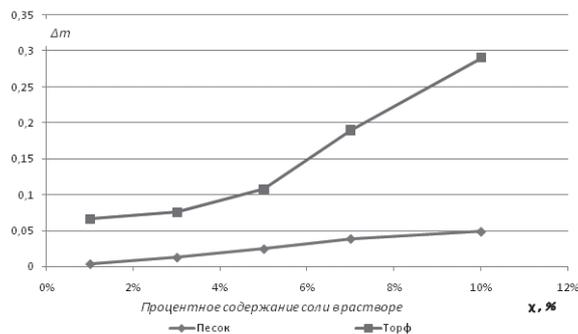


Рис. 9. Изменение  $\Delta m = m_{\text{погл.}} / m_{\text{адсорб.}}$   $\Delta m = \frac{m_{\text{погл.}}}{m_{\text{адсорб.}}}$

при различных концентрациях раствора NaCl

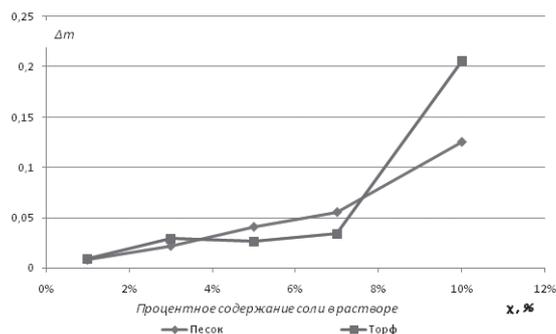


Рис. 10. Изменение  $\Delta m = m_{\text{погл.}} / m_{\text{адсорб.}}$  при различных концентрациях раствора KCl

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Леонтьев Н.Е. Основы теории фильтрации: учебное пособие. М.: Изд-во Центра прикладных исследований при механико-математическом факультете МГУ, 2009. 88 с.
2. Соболев А.А., Швецов Г.И., Глубокова Е.А. Экспериментальные исследования фильтрационной анизотропии лессовых грунтов // Ползуновский вестник. 2007. № 1-2. С. 112-113.
3. Соболев А.А. Учет фильтрационной анизотропии при строительстве на лессовых макропористых грунтах // Естественные науки. 2010. Вып. 1. С. 299-303.
4. Перердеший М.А. Адсорбционные методы защиты окружающей среды от загрязнений нефтью и нефтепродуктами // Проблемы, способ и средства защиты окружающей среды от загрязнений нефтью и нефтепродуктами. М., 1999. С. 15-17.

5. Ишбаев Г.Г., Дильмиев М.Р., Христенко А.В., Христенко А.Н. Новое слово в обеспечении устойчивости ствола скважины и сохранении коллекторских свойств — гелево-эмульсионный раствор МУЛЬТИБУР // Бурение и нефть. 2012. № 5. С. 36-39.
6. Балаба В.И., Механизм разупрочнения глинистых пород буровыми технологическими жидкостями // Инженер-нефтяник. 2008. № 2. С. 19-22.
7. Усова Л.Н., Миннигалимов Р.З., Сафонов В.Е., Голубев М.В. Обоснование выбора рациональных точек подачи деэмульгатора в добываемую жидкость при путевом сбросе воды // Нефтегазовое дело. 2008. № 2. С. 12-20.
8. Ковалева Л.А., Миннигалимов Р.З., Зиннатуллин Р.Р. Исследование степени расслоения нефтяных шламов при электромагнитном воздействии в зависимости от их диэлектрических свойств // Нефтегазовое дело. 2010. Т. 8. № 2. С. 82-84.
9. Семихин В.И., Могильный Е.А., Малюгин Р.В. Исследование фильтрационно-емкостных свойств торфа // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Сер. Естественные и технические науки. 2012. № 6-7. С. 50-54.
10. Семихин В.И., Могильный Е.А., Малюгин Р.В. Сравнение фильтрационных свойств песка и торфа. Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании // Sworld междунар. науч.-практич. конф., Одесса, 18-27 декабря 2012 г. / Отв. ред. С.В. Куприенко. Вып. 4. Т. 4. Одесса: Изд-во КУПРИЕНКО, 2012. С. 39-44.

## REFERENCES

1. Leont'ev, N.E. *Osnovy teorii fil'tracii* [Fundamentals Of The Filtration Theory]: Study Guide. Moscow: Applied Research Centre Publ., MSU, Faculty Of Mechanics And Mathematics, 2009. 88 p. (in Russian).
2. Sobolev, A.A., Shvecov, G.I., Glubokova, E.A. Filtrational Anisotropy Tests Of Loessial Soil. *Polzunovskij vestnik — Polzunov Bulletin*. 2007. No. 1-2. Pp. 112-113 (in Russian).
3. Sobolev, A.A. Taking Into Account The Filtrational Anisotropy When Building On Loessial Macroporous Soils. *Estestvennyye nauki — Natural Sciences*. 2010. Vol. 1. Pp. 299-303 (in Russian).
4. Peredershiy, M.A. Adsorption Environmental Safeguards Against Oil And Petrochemical Pollution. *Problemy, sposob i sredstva zashhity okruzhajushhej sredy ot zagryaznenij nef't'ju i nefteproduktami — Problems, Means And Methods To Safeguard The Environment Against Oil And Petrochemical Pollution*. Moscow. 1999. Pp. 15-17 (in Russian).
5. Ishbaev, G.G., Dil'miev, M.R., Hristenko, A.V., Hristenko, A.N. New Methods To Ensure The Borehole Stability And To Preserve The Reservoir Features - Gel And Emulsion Solution MULTIBUR. *Burenie i nef't' — Drilling And Oil Journal*. 2012. No. 5. Pp. 36-39 (in Russian).
6. Balaba, V.I. The Clays Softening By Drilling Fluids. *Inzhener-neftjanik — Petroleum Engineer Journal*. 2008. No. 2. Pp. 19-22 (in Russian).
7. Usova, L.N., Minnigalimov, R.Z., Safonov, V.E., Golubev, M.V. The Rationale For Choosing Demulsifier Feed Points At The Water Kickout During The Production. *Neftegazovoe delo — Oil And Gas Business*. 2008. No. 2. Pp. 12-20 (in Russian).
8. Kovaleva, L.A., Minnigalimov, R.Z., Zinnatullin, R.R. The Study Of Segregating Degree For Oily Muds Under Electromagnetic Impact In Dependence With Their Dielectric Properties. *Neftegazovoe delo — Oil And Gas Business*. 2010. Vol .8. No. 2. Pp. 82-84 (in Russian).
9. Semihin, V.I., Mogil'nyj, E.A., Maljugin, R.V. The Study Of The Peat Filtering Capacity. *Sovremennaja nauka: aktual'nye problemy teorii i praktiki — Modern Science: Current Issues Of Theory And Practice*. Natural And Technical Sciences Series. 2012. No. 6-7. Pp. 50-54 (in Russian).

10. Semihin, V.I., Mogil'nyj, E.A., Maljugin, R.V. The Comparative Study Of Sand And Peat Filtering Properties. Current Problems And Their Ways Of Solution In Science, Transport, Production, And Education. *Sworld mezhdunar. nauch.-praktich. konf., Odessa, 18-27 dekabrja 2012 g.* [Sworld Intl. Research And Practice Conference, Odessa, Dec. 18-27, 2012] Editor-In-Chief S.V.Kuprienko. Issue 4. Vol. 4. Odessa: KUPRIENKO Publishing, 2012. Pp. 39-44 (in Russian).