

УДК 622.279

**ПРЕДПОСЫЛКИ И ЗАДАЧИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД
С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ УСТАНОВЛЕНИЯ УСЛОВИЙ НАСТУПЛЕНИЯ
ФАКТОРОВ ОСЛОЖНЕНИЯ ДОБЫЧИ**

**PREMISES AND PROBLEMS OF MODELING OF THE ROCK
WITH STANDPOINT OF THE DETERMINATION OF THE CONDITIONS OF
THE APPROACH FACTOR COMPLICATIONS OF THE MINING**

Березовский Денис Александрович
заместитель начальника цеха,
филиал ООО «Газпром добыча Краснодар»
Каневское газопромысловое управление

Лаврентьев Александр Владимирович
кандидат химических наук,
доцент кафедры физики,
докторант кафедры Нефтегазового дела
имени профессора Г.Т. Вартумяна,
Кубанский государственный
технологический университет

Савенок Ольга Вадимовна
доктор технических наук,
доцент кафедры Нефтегазового дела
имени профессора Г.Т. Вартумяна,
Кубанский государственный
технологический университет
Тел.: (861) 233-84-30, 8(918) 326-61-00
set@id-yug.com

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы исследования природы прочности пород-коллекторов и разработки методов моделирования состояния пород-коллекторов. Разработана композиционная модель песчаника — хаотично упакованные в пространстве минеральные частицы (песка), удерживаемые глинистой связкой и составляющие таким образом рыхлый пространственный каркас, в поровом объеме которого располагается жидкая фаза и воздух. Показано, что по физико-механическим характеристикам глинистые породы принципиально отличаются от песчаников.

Ключевые слова: горные породы, моделирование горных пород, исследование свойств песчаников и глинистых пород, композиционная модель песчаника, коллоидные гидратированные частицы, физико-химическая природа песчаников.

Berezovskiy Denis Aleksandrovich
deputy of the chief of the shop of
the branch
ООО «Gazprom mining Krasnodar»
Kanevskoe gas field management

Lavrentiev Alexander Vladimirovich
candidate of the chemical sciences,
Assistant Professor of the pulpit physicists,
Doctorant of the pulpit oil and gas deal
of the name of
the professor G.T. Vartumyan,
Kuban State University of Technology

Savenok Olga Vadimovna
Doctor of the technical sciences,
Associate Professor of the pulpit oil
and gas deal of the name of the professor
G.T. Vartumyan,
Kuban State University of Technology
Tel.: (861) 233-84-30, 8(918) 326-61-00
set@id-yug.com

Annotation. In article are considered questions of the study of the nature to toughness of the sorts-collector and development of the methods of modeling of the condition of the sorts-collector. It is Designed compositional model of the sandstone — chaotic packed in space mineral particles (sand), deducted by clayey ligament and forming thereby friable spatial framework, in pore volume which is situated the fluid phase and air. It is Shown that on physic-mechanical feature argillaceous sorts in principal differ from sandstone.

Keywords: rock, modeling of the rock, study characteristic sandstone and argillaceous sorts, compositional model of the sandstone, colloidal hydrated particles, physic-chemical nature sandstone.

Ранее [1–3] в качестве одной из задач настоящей работы была определена разработка комплексных системных технологических решений эксплуатации газовых месторождений Краснодарского края на завершающей стадии на основе прогнозных моделей активизации осложнений. Среди факторов возникновения осложнений (истощение залежи, деградация пород-коллекторов и износ оборудования) фактор деградации

пород-коллекторов наименее изучен и представляет большой научно-практический интерес как предмет исследования.

Горные породы, как и породы-коллекторы, крайне сложны для исследований и системного описания, что обусловлено рядом факторов:

- сложностью и разнообразием условий генезиса горных пород;
- исключительно широким диапазоном составов горных пород;
- сложностью строения и структур на разных уровнях.

В настоящей статье моделирование горных пород применено для прогнозирования состояния пород-коллекторов с целью установления условий наступления факторов осложнения добычи. При этом необходимо установить характер и направление процессов, протекающих в породах-коллекторах и приводящих к осложнениям:

- процессы взаимодействия пород-коллекторов и воды, приводящие к песко- и водопрооявлениям;
- потери прочности и устойчивости пород-коллекторов, приводящие к обрушению или сужению ствола стенок скважины.

Для решения поставленной задачи требуется привлечение широкого круга дисциплин — гидрогеологии и инженерной геологии [4–6], литологии [7], грунтоведения [8], физической химии [9] и ряда других дисциплин. Обобщённо такие подходы представляют собой методы междисциплинарного исследования.

Междисциплинарная методология исследования и моделирования пород-коллекторов основана на принципах:

- интеграционного подхода — объединении различных методов, применяемых при исследовании горных пород в разных дисциплинах;
- изучения механизмов процессов, контролирующих поведение горных пород;
- многоуровневое системное рассмотрение по принципу нарастающей сложности указанных выше процессов — от зарождения и развития до завершения.

Междисциплинарная методология позволяет исследовать горные породы на всех уровнях — от микроструктур до массивов, что необходимо для исследования механизмов структурообразования и стадий деградации пород вплоть до их разрушения.

Исследование свойств песчаников и глинистых пород

К числу наиболее распространённых пород-коллекторов газовых и газоконденсатных месторождений Краснодарского края относятся песчаники и глинистые породы.

Рассмотрим сопоставительные качественные характеристики горных пород. Предметом настоящего исследования являются песчаники, другие виды пород (глинистые и песчаные) представлены здесь в той степени, в которой это необходимо для понимания природы песчаников.

В соответствии с классификацией горных пород (грунтов) они разделяются на *связные* и *несвязные* [10]. Связные — глины, суглинки, супеси; несвязные — песок (табл. 1).

Таблица 1 — Классификация горных пород (грунтов)

№ п/п	Наименование грунта	Содержит частиц < 0,005 (%)	Число пластичности J_p
1	глины	> 30	> 0,17
2	суглинок	10 ÷ 30	0,07 ÷ 0,17
3	супесь	3 ÷ 10	0,01 ÷ 0,07
4	песок	< 3	не пластичный

По этой классификации песчаник относится к супесям, которые по минеральному составу близки к несвязным грунтам — пескам, но имеют некоторую долю связанности структуры благодаря присутствию глинистой компоненты. В песчанике доля глинистой компоненты может быть сравнительно небольшой (5–10 %), однако её влияние на свойства песчаника часто оказывается очень значительным.

Композиционная модель песчаника

На рисунке 1 представлены композиционные модели слабосцементированного (а) и сильносцементированного (б) песчаника.

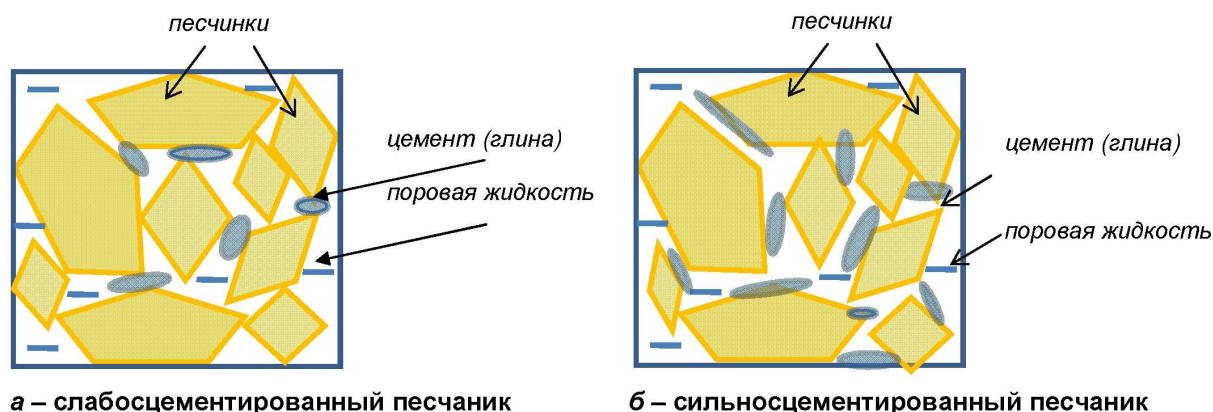


Рисунок 1 — Композиционная модель песчаника

Песчаник представляет собой композиционный материал, в котором зёрна песка сцементированы глинистой связкой (рис. 1). Как пористая дисперсная среда, песчаник представляет собой хаотично упакованные в пространстве минеральные частицы (песка), удерживаемые глинистой связкой и составляющие таким образом рыхлый пространственный каркас, в поровом объёме которого располагается жидкая фаза и воздух. Как прочностная конструкция, песчаник представляет собой соединение высокопрочных минеральных частиц (песчинок) и низкопрочных связующих элементов (глинистых веществ). Разрушение песчаника происходит по цементирующему компоненту.

С точки зрения химического подхода песчаник — непрерывный твёрдый раствор, состоящий из двух компонентов (фаз):

- 1) нерастворимой в воде минеральной фазы;
- 2) фазы с ограниченной растворимостью в воде (глины).

Межзёрненное пространство песчаника (поровый объём) может быть частично или полностью заполнен водой (жидкой фазой). В случае если всё поровое пространство заполнено водой, песчаник становится водонасыщенным.

Глинистые породы — наиболее сложный вид горных пород.

Глинистые породы значительно отличаются от песчаников:

- глинистая порода состоит предпочтительно из коллоидных частиц в разной степени агрегации, с помощью которых обеспечивается формирование пространственно-связывающей сети;
- глинистым породам присуща тиксотропия — способность материала к восстановлению структуры и объёма после некоторого некритического воздействия;
- коллоидные гидратированные частицы (КГЧ) представляют собой промежуточную фазу — не твёрдую и не жидкую, а одновременно и ту и другую, что принципиально отличает глину от песка, в которой такой фазы нет;
- КГЧ, обладая высокой подвижностью и химической близостью к твёрдой фазе глины, в период перестройки структуры заполняют поровые каналы, блокируя движение жидкости.

Механизмы деформационно-пространственной нестабильности глинистых грунтов связаны с процессами взаимного перемещения жидкой и твёрдой фаз грунта. К числу главных факторов, определяющих деформационное поведение глинистых грунтов, относятся микроструктура, поровое пространство и характер взаимодействия с водой. Микроструктура глин представлена иерархией областей с различной плотностью — микроагрегаты и агрегаты.

Связи между микроагрегатами менее прочные, чем внутри них. Рыхлые агрегаты по размерам превосходят микроагрегаты в несколько десятков раз (рис. 2) [8].

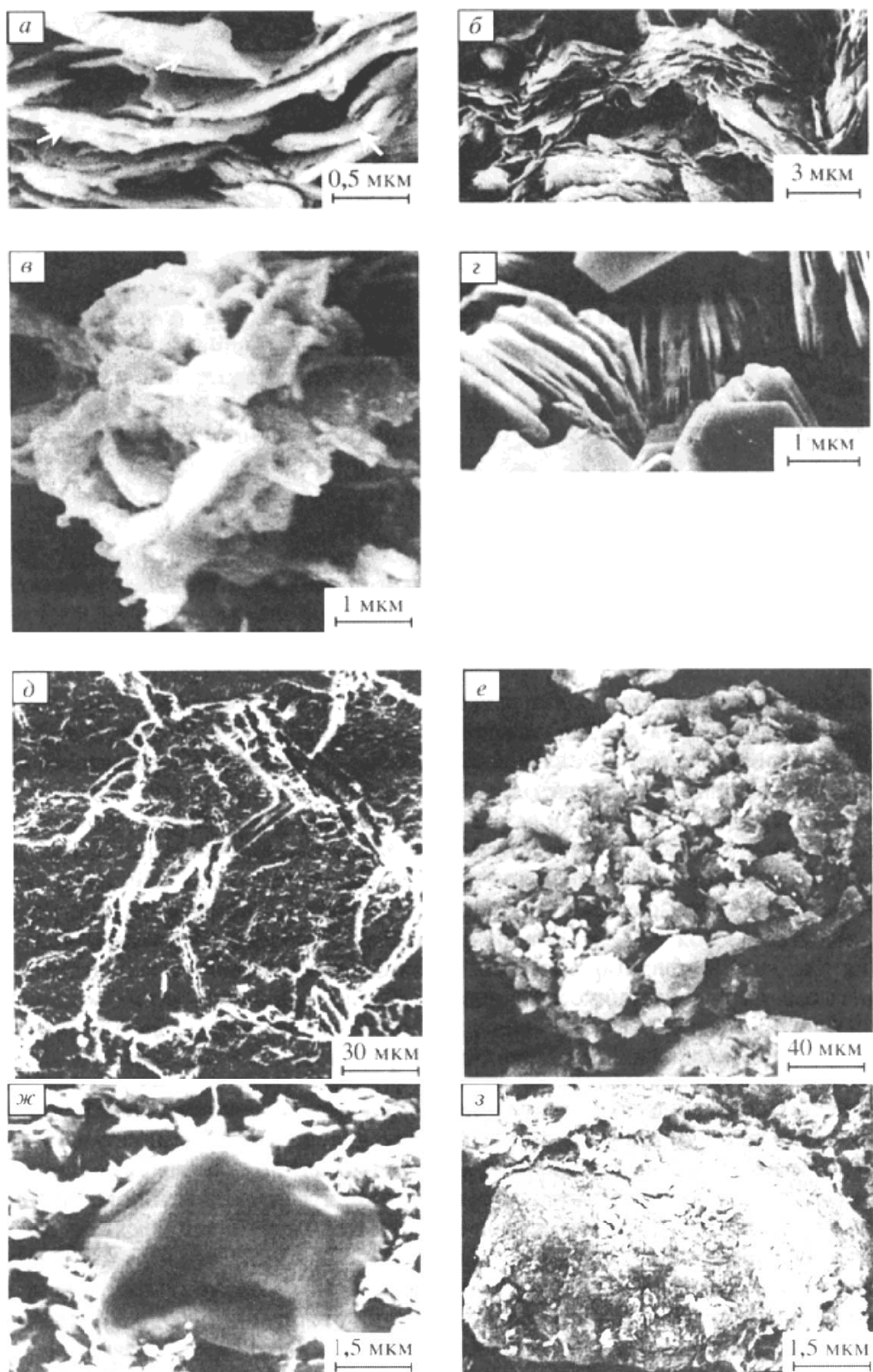


Рисунок 2 — Твёрдые структурные элементы в глинистых породах:
а — ультрамикроагрегаты; б-г — микроагрегаты; д, е — агрегаты; ж, з — зёрна

По физико-механическим характеристикам глинистые породы принципиально отличаются от песчаников:

- песчаники — хрупкие системы, глинистые породы — высокопластичные;
- глинистые породы плохо сжимаемы, но высоко деформируемы, песчаники — ломкие при сжатии и не деформируемы.

Квазитиксотропные природные грунты на стадии восстановления либо не достигают, либо превышают начальный уровень прочности (рис. 2).

Одно из основных свойств глинистых горных пород — тиксотропия — полное или частичное разрушение структурных связей породы при динамическом воздействии и последующем самопроизвольном их восстановлении после прекращения действия нагрузки. Квазитиксотропные природные горные породы на стадии восстановления либо не достигают, либо превышают начальный уровень прочности (рис. 3). Поведение связных горных пород характеризуется многообразными и сложными явлениями, одним из которых является внезапное разжижение супеси при некоторой частоте вибрации и влажности (рис. 4) [8].

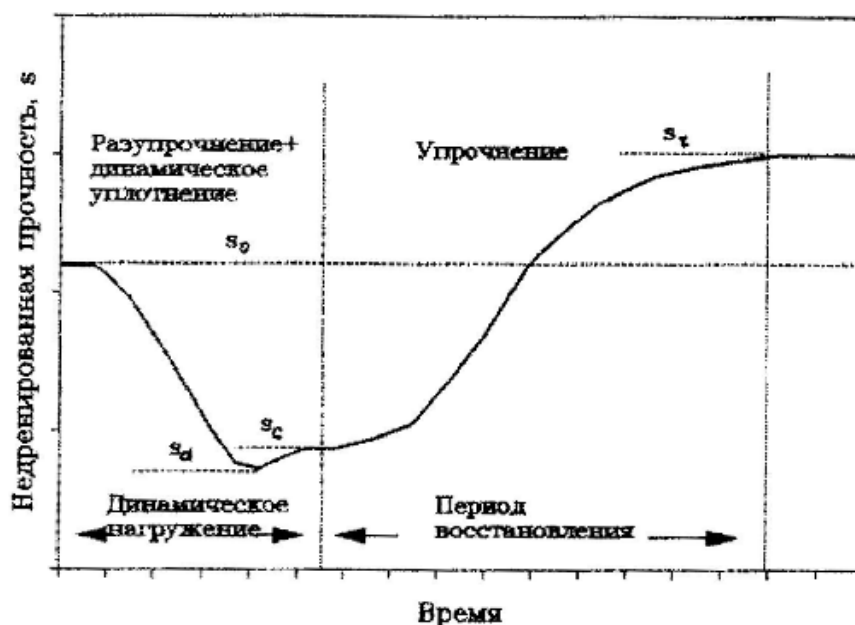


Рисунок 3 — Кинетика разупрочнения неводонасыщенного слабосвязанного грунта при динамическом нагружении и последующего восстановления его прочности в покое

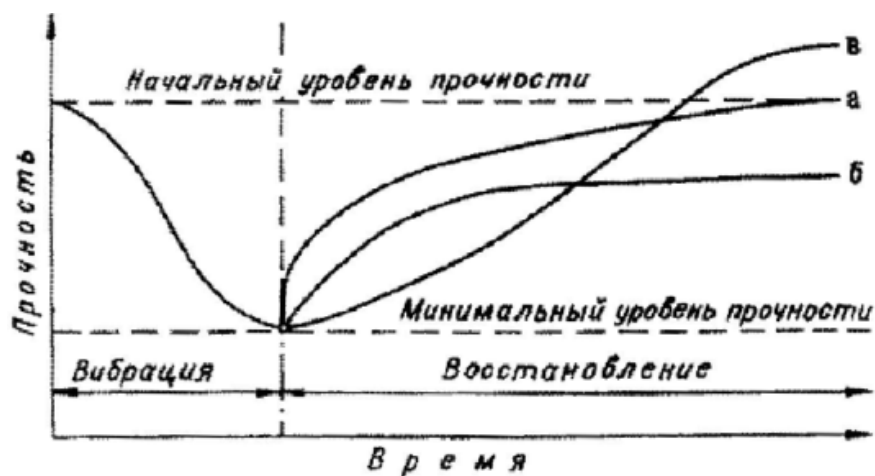


Рисунок 4 — Кинетика восстановления прочности тиксотропной системы (а) и квазитиксотропных природных грунтов (б, в)

Как указывалось ранее, физико-химическая природа песчаников проявляется при их взаимодействии с водой. Для исследования характера этого процесса выполнены эксперименты по фильтрационной проницаемости песчаников.

В заключении можно сделать следующие выводы:

1. Разработана композиционная модель песчаника — хаотично упакованные в пространстве минеральные частицы (песка), удерживаемые глинистой связкой и составляющие таким образом рыхлый пространственный каркас, в поровом объеме которого располагается жидкая фаза и воздух.

2. Показано, что по физико-механическим характеристикам глинистые породы принципиально отличаются от песчаников:

- песчаники — хрупкие системы, глинистые породы — высокопластичные;
- глинистые породы плохо сжимаемы, но высоко деформируемы, песчаники — ломкие при сжатии и не деформируемы.

Литература:

1. Батыров М.И., Березовский Д.А., Савенок О.В. Разработка технологических решений на завершающей стадии эксплуатации газовых месторождений Краснодарского края // Сборник тезисов 68-ой Международной молодежной научной конференции «Нефть и газ – 2014». 14–16 апреля 2014 г. Секция 2. Разработка нефтяных и газовых месторождений. Бурение скважин. – М. : РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2014. – С. 20.

2. Березовский Д.А., Савенок О.В. Анализ осложнений при эксплуатации газовых месторождений на завершающей стадии и разработка метода прогнозирования состояния пород-коллекторов на основе методов междисциплинарного моделирования // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2014. – № 1. – С. 26–34.

3. Кашкина К.В., Березовский Д.А., Савенок О.В. Разработка эффективной технологии эксплуатации газовых месторождений на завершающей стадии на примере месторождений Краснодарского края // Сборник научных трудов Международного форума-конкурса молодых учёных «Проблемы недропользования». 23–25 апреля 2014 г. – Санкт-Петербург : Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2014. – С. 179.

4. Басниев К.С., Кочина И.Н., Максимов В.М. Подземная гидромеханика : Учебник для вузов. – М. : Недра, 1993. – 416 с.

5. Осипов В.И., Соколов В.Н., Еремеев В.В. Глинистые покрышки нефтяных и газовых месторождений. – М. : Наука, 2001. – 238 с.

6. Осипов В.И., Соколов В.Н., Румянцева Н.А. Микроструктура глинистых пород / Под ред. академика Е.М. Сергеева. – М. : Недра, 1989. – 211 с.

7. Кузнецов В.Г. Литология. Осадочные горные породы и их изучение : учеб. пособие для вузов. – М. : ООО «Недра-Бизнесцентр», 2007. – 511 с.

8. Вознесенский Е.А. Динамическая неустойчивость грунтов. – М. : Эдиториал УРСС, 1999. – 263 с.

9. Ребиндер П.А. Физико-химическая механика. – М. : «Знание», 1958.

10. ГОСТ 25100-95. Грунты. Классификация.

References:

1 . Batyrov M.I., Berezovsky D.A., Savenok O.V. Owllet development of technological decisions on a closing stage of operation of gas fields of Krasnodar Krai // the Collection of theses of the 68th International youth scientific conference «Oil and Gas – 2014». April 14–16, 2014. Section 2. Development of Oil and Gas Fields. Drilling of wells. – M. : RGU of oil and name I.M. Gubkina, 2014. – P. 20.

2 . Berezovsky D.A., Savenok O.V. Owllet the analysis of complications at operation of gas fields on a closing stage and development of a method of forecasting of a condition of breeds collectors on the basis of methods of interdisciplinary modeling // Science. Equipment. Technologies (the polytechnical messenger). – 2014. – No. 1. – P. 26–34.

3 . Cat's K.V., Berezovsky D.A., Savenok O.V. Owllet development of effective technology of operation of gas fields on a closing stage on the example of fields of Krasnodar Krai // the Collection of scientific works of the International forum competition of young scientists of «A subsurface use problem». On April 23-25, 2014 – St. Petersburg : National mineral and raw university «Gorny», 2014. – P. 179.

4 . Basniyev K.S., Kachin I.N., Maksimov V.M. Underground hydromechanics : The textbook for higher education institutions. – M. : Subsoil, 1993. – 416 p.

5 . Osipov V.I., Sokolov V.N., Yeremeyev V.V. Clay tires of oil and gas fields. – M. : Science, 2001. – 238 p.

6 . Osipov V.I., Sokolov V.H., Rumyantseva N.A. Mikrostruktura of clay breeds / Under the editorship of the academician E.M. Sergeyev. – M. : Subsoil, 1989. – 211 p.

7 . Smiths V.G. Litologiya. Sedimentary rocks and their studying : Studies. grant for higher education institutions. – M. : JSC Businessstsentr-Nedra, 2007. – 511 p.

8 . Voznesensky E.A. Dinamicheskaya instability of soil. – M. : Editorial of URSS, 1999. – 263 p.

9 . Reh binder P.A. Fiziko-himicheskaya of the mechanic. – M. : «Knowledge», 1958.

10. GOST 25100-95. Soil. Classification.