



Научная статья  
УДК 622.276.4  
<https://doi.org/10.37493/2308-4758.2025.4.7>

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ И ПРИЧИН РАЗРУШЕНИЯ ПЛАСТОВ- КОЛЛЕКТОРОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Рамиз Алиджавад-оглы Гасумов<sup>1\*</sup>,  
Эльдар Рамизович Гасумов<sup>2</sup>,  
Юлианна Константиновна Димитриади<sup>3</sup>,  
Абдул-Гапур Гусейнович Керимов<sup>4</sup>,  
Наталья Григорьевна Федорова<sup>5</sup>

<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup> Северо-Кавказский федеральный университет (д.1, ул. Пушкина, Ставрополь, 355017, Российская Федерация)

<sup>2</sup> Азербайджанский технический университет (д. 25, пр. Г. Джавида, Баку, Азербайджанская Республика)

<sup>1</sup> R.Gasumov@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4700-2391>

<sup>2</sup> e.gasumov@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-2704-0523>

<sup>3</sup> iudimitriadi@ngfu.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6807-9427>

<sup>4</sup> akerimov@ncfu.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4880-787X>

<sup>5</sup> fng8@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0383-3134>

\* Автор, ответственный за переписку

### Аннотация.

В статье рассмотрены вопросы изучения характера и масштабов разрушения коллекторов в процессе эксплуатации залежей газа при разработке газовых месторождений. Изучены состояние диагностики и прогноза разрушения пласта-коллектора на газовых месторождениях и эксплуатации подземных хранилищ газа. В связи серьезности рассматриваемой задачи и актуальности вопроса обоснованы необходимость дополнительных исследований, для разработки надежные методик диагностики состояния призабойной зоны пласта, оценки характера и масштабов разрушения продуктивных пластов, а тем более способы прогнозирования таких процессов. Исследованы причины возникновения из-за разрушения коллектора в призабойной зоны пласта осложнений в эксплуатации скважин, рассмотрены возможные пути их предотвращения, за счёт создания методы прогнозирования поведения продуктивных пластов для различных типов коллекторов в условиях воздействия на коллекторы сложных многофазных газодинамических и гидродинамических потоков. Выполнены сбор, обобщение и анализ геологических и промысловых материалов, а также рассмотрены геолого-гидрогеологические условия для выявления причин разрушения коллектора и других осложнений и прогноз процессов, позволяющих разработать необходимые способы и технико-техно-

логические мероприятия, предотвращающие и предупреждения подобных осложнений.

Исследованы влияния геолого-технологических параметров на состояние прискважинной зоны, определены характер, масштабы и причины разрушения пород-коллекторов, предложены рекомендации, технические и технологические мероприятия по их предотвращению и борьбе с разрушением коллекторов при эксплуатации газовых месторождений. Для каждой залежи, в зависимости от её особенностей, должен обосновываться свой комплекс методов получения информации, в котором могут преобладать те или иные методы. Полученные результаты могут быть использованы для разработки технико-технологических мероприятий по борьбе с разрушением пласта-коллектора.

**Ключевые слова:** газовая залежь, коллектор, прискважинная зона, эксплуатация, разрушения пласта-коллектора, месторождения

**Для цитирования:** Гасумов Р. А. и др. Исследование механизмов и причин разрушения пластов-коллекторов при разработке газовых месторождений / Р. А. Гасумов, Э. Р. Гасумов, Ю. К. Димитриади, А-Г.Г. Керимов, Н.Г. Федорова // Наука. Инновации. Технологии. 2025. № 4. С. 151–174. <https://doi.org/10.37493/2308-4758.2025.4.7>

**Конфликт интересов:** доктор технических наук, профессор Гасумов В.А. является членом редакционного совета журнала «Наука. Инновации. Технологии», доктора технических наук, профессора Гасумов Р.А., Керимов А.Г. и Федорова Н.Г. являются членами редакционной коллегии журнала «Наука. Инновации. Технологии». Авторам неизвестно о каком-либо другом потенциальном конфликте интересов, связанным с этой рукописью..

Статья поступила в редакцию 10.06.2025;  
Одобрена после рецензирования 20.10.2025;  
Принята к публикации 14.12.2025.

#### **2.8.4. Development and operation of oil and gas fields (technical sciences)**

Research Article

### **The study of mechanisms and causes of reservoir destruction in gas field development**

**Ramiz A. Gasumov<sup>1\*</sup>,**  
**Eldar R. Gasumov<sup>2</sup>,**  
**Yulianna K. Dimitriadi<sup>3</sup>,**  
**Abdul-Gapur G. Kerimov<sup>4</sup>,**  
**Natalia G. Fedorova<sup>5</sup>**

<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup> North-Caucasus Federal University (1, Pushkin St., Stavropol, 355017, Russian Federation)

<sup>2</sup> Azerbaijan Technical University (25, Huseyn Javid Ave., Baku, Azerbaijan Republic)

<sup>1</sup> R.Gasumov@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4700-2391>

<sup>2</sup> e.gasumov@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-2704-0523>

<sup>3</sup> iudimitriadi@ngfu.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6807-9427>

<sup>4</sup> akerimov@ncfu.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4880-787X>

<sup>5</sup> fng8@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0383-3134>

\* Corresponding author

#### Abstract.

The article examines the nature and extent of reservoir failure in gas field development. It studies the state of reservoir failure diagnostics and prediction in gas fields and underground gas storage facilities. Given the relevance of the issue, the need for additional research is justified to develop reliable methods for diagnosing the state of the near-wellbore zone, assessing the nature and extent of productive formation failure, and, especially, methods for predicting such processes. The causes of well operation complications due to reservoir failure in the near-wellbore zone are investigated, and possible ways to prevent them are discussed by developing a method for predicting the behavior of productive formations for various reservoir types under conditions of complex multiphase gas-dynamic and hydrodynamic flows. Geological and field data were collected, summarized and analyzed. Geological and hydrogeological conditions were examined to identify the causes of reservoir failure and other complications, and processes were forecasted to enable the development of necessary methods and technical and technological measures to prevent and manage such complications.

The influence of geological and technological parameters on the condition of the near-wellbore zone was studied, the nature, scale, and causes of reservoir rock failure were determined, and recommendations and technical and technological measures for preventing and managing reservoir failure during gas field development were proposed. For each reservoir, depending on its characteristics, a specific set of methods for obtaining information should be justified, with certain methods being predominant. The results obtained will be used to develop technical and technological measures to combat reservoir failure.

#### Keywords:

gas deposit, reservoir, near-wellbore zone, operation, reservoir formation destruction

#### For citation:

Gasumov RA, Gasumov ER, Dimitriadi YK, Kerimov A-GG, Fedorova NG. The study of mechanisms and causes of reservoir destruction in gas field development. *Science. Innovations. Technologies.* 2025;(4): 151-174. <https://doi.org/10.37493/2308-4758.2025.4.7>

#### Conflict of interest:

Doctor of Technical Sciences, Professor V.A. Gasumov is a member of the editorial board of the journal "Science. Innovations. Technologies." Doctors of Technical Sciences, Professors R.A. Gasumov, A.G. Kerimov, and N.G. Fedorova are members of the editorial board of the journal "Science. Innovations. Technologies." The authors are not aware of any other potential conflicts of interest related to this manuscript.

The article was submitted 10.06.2025;  
approved after reviewing 20.10.2025;  
accepted for publication 14.12.2025.

## **Введение**

Анализ промысловых данных разработки газовых месторождениях (ГМ) показывает, что в большинстве эксплуатационных скважин происходит разрушение пласта-коллектора и осложнения в призабойной зоне пласта (ПЗП), и потом наблюдаются нарушения структуры продуктивной залежи. А это может привести к негативным последствиям для разработки месторождения углеводородов (УВ), в том числе: неравномерное распределение пластового давления в пределах залежи; снижение проницаемости и пропускной способности продуктивного пласта; потеря значительных объёмов извлекаемых запасов УВ. В связи с этим изучение характера и масштабов разрушения коллекторов в процессе эксплуатации залежей газа является актуальной задачей, решение которой должно повысить надёжность и эффективность разработки месторождений УВ [1–3].

Исследование механизмов и причин разрушения пластов-коллекторов при разработке ГМ направлено на изучение процессов, связанных с выносом песка и продуктов разрушения пород-коллектора из скважин, и разработку методов предотвращения и снижения негативного влияния разрушения. Эта проблема характерна для залежей, вступающих в заключительную стадию разработки, что осложняет эксплуатацию скважин.

Своевременное выявление зон повышенной трещиноватости, оценка устойчивости коллектора к нагрузкам и прогнозирование динамики пескопроявления (выноса песка из пласта) путём осуществления методов диагностики и прогноза разрушения пласта-коллектора на ГМ могут позволить реализовать мероприятия, предотвращающие возможные осложнения и обеспечивающие эффективную разработку залежи УВ [4].

Возникающие из-за разрушения коллектора в ПЗП осложнения в эксплуатации скважин возможно предотвратить, если совершенствовать методы прогнозирования поведения продуктивных пластов для различных типов коллекторов в условиях воздействия на коллекторы сложных многофазных газодинамических и гидродинамических потоков.

Анализ и изучение причин разрушения коллектора и других осложнений и прогноз процессов позволят разработать необходи-

мые способы и технико-технологические мероприятия, предотвращающие и предупреждающие подобные осложнения.

### **Материалы и методы исследований**

В качестве информационных источников использованы результаты изучения данных бурения, освоения и эксплуатации скважин на газовых месторождениях, где происходило разрушение пласта-коллектора и выявлялись осложнения в призабойной зоне пласта. Для проведения оценки структурных изменений в породно-флюидальной системе горного объекта были использованы промысловые, геологические и статистические материалы, данные геофизических и гидродинамических исследований, а также материалы по вскрытию продуктивных пластов, освоению и эксплуатации скважин месторождениях углеводородов (УВ) в различных горно-геологических условиях. Для изучения характера и масштабов разрушения коллекторов в процессе эксплуатации залежей газа при разработке газовых месторождений использованы различные методы, в том числе: изучение результатов лабораторных исследований о геолого-физических свойствах пород и физико-химических свойствах УВ и пластовой воды; результаты геофизических исследований для изучения геологических разрезов скважин; материалы гидродинамических исследований для определения физических свойств и продуктивности пластов-коллекторов; промысловые данные наблюдения за работой добывающих и нагнетательных скважин.

### **Результаты исследований и их обсуждение**

Разработка газовых месторождений повсеместно сопровождается разрушением матрицы породы-коллектора в ПЗП, что широко распространено в высокопродуктивных объектах, проводящих к ухудшению условий отбора УВ через фильтр и прифильтовую зону пласта.

Исследование механизмов и причин разрушения пластов-коллекторов при разработке ГМ позволяет выделить некоторые подходы (рис. 1).



Рис. 1.

**Подходы к исследованию механизмов и причин разрушения пластов-коллекторов при разработке ГМ.**

Fig. 1. Approaches to studying the mechanisms and causes of reservoir destruction during gas field development.

В комплексе сложных физико-химических явлений, следствием протекания которых в породно-флюидальной системе газовой залежи является снижение продуктивности скважин, наиболее опасными являются процессы разрушения ПЗП, сопровождающиеся такими осложнениями, как кавернообразование, песчаные пробки в стволах скважин, обрушение кровли каверны, смятие колонн и др. Разработка методов диагностики характера и масштаба разрушения коллекторов различного типа, а тем более технические и технологические решения по предотвращению и борьбе с этими разрушениями, возможна только на основе чётких представлений и знаний о механизмах и процессах, происходящих в породно-флюидальных системах ГМ при их эксплуатации [2, 5]. Вопросы диагностики и прогноза разрушения пласта-коллектора на ГМ являются серьёзной задачей и нуждаются в дополнительных исследованиях для разработки надёжных методик диагностики состояния ПЗП, оценки характера и масштабов разрушения продуктивных пластов, а тем более способов прогнозирования таких процессов.

Можно условно выделить задачи диагностики и прогноза разрушения пласта-коллектора на ГМ (рис. 2).

Любое вмешательство в породно-флюидальную систему горного объекта нарушает сложившееся равновесие и ведёт к перераспределению напряжений ранее бывших взаимокompенсированными. При вмешательстве в породно-флюидальную систему горного объекта происходит воздействие на свойства горных пород и флюидов, которое может быть направлено на изменение структуры, состава или состояния породных массивов, а также на управление движением флюидов в пласте.

Вмешательства в породно-флюидальную систему горного объекта могут быть связаны с разработкой месторождений, подземными горными работами или другими задачами, требующими управления свойствами геологической среды [5, 6]. Можно выделить некоторые виды вмешательства в породно-флюидальную систему горного объекта (табл. 1).

Исходя из теории разрушения твёрдых тел, представленных слоями с различной жёсткостью, породный массив в первую очередь разрушается обязательно по контактам разнофациальных пород.

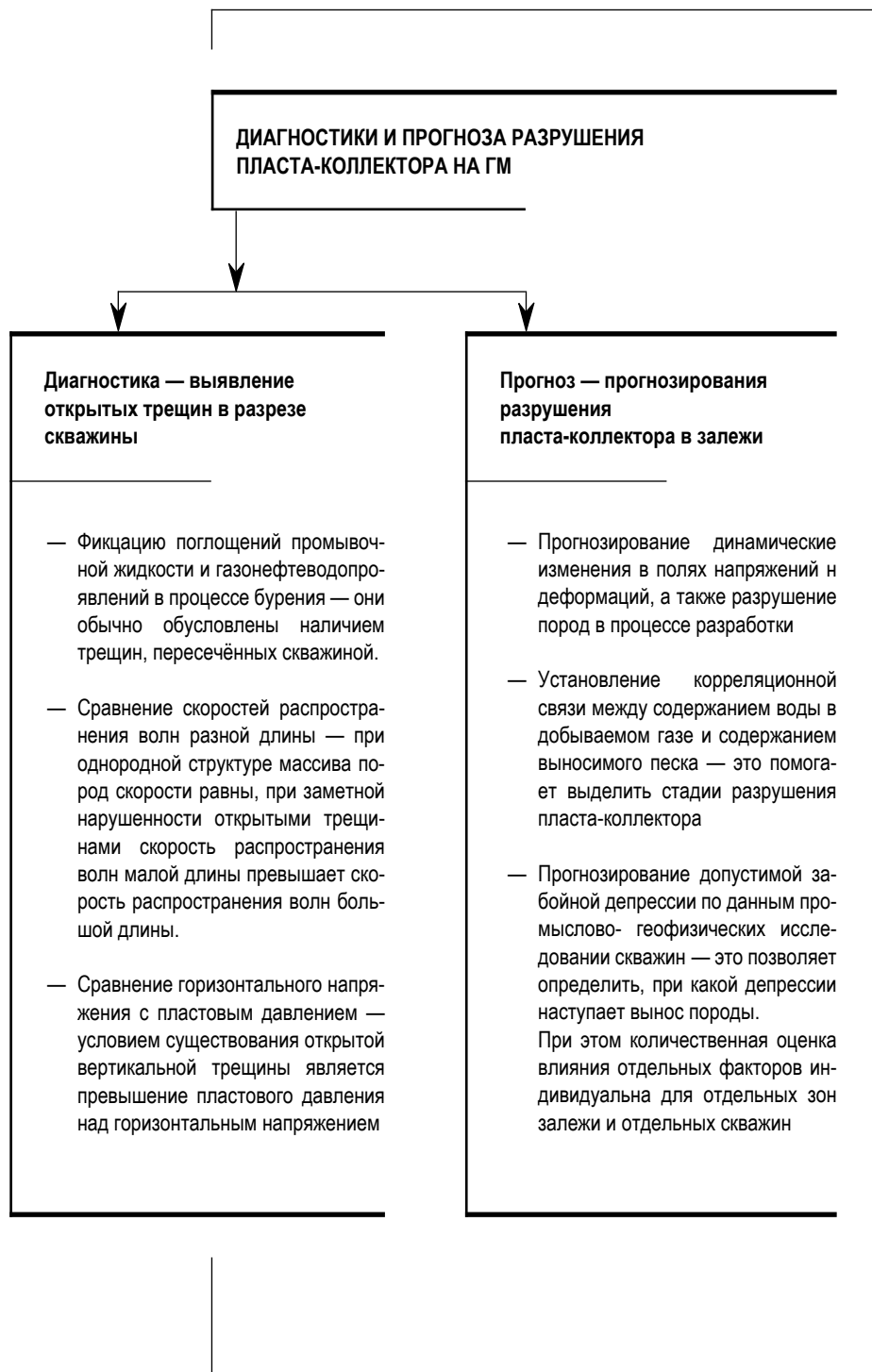


Рис. 2.

Диагностика и прогноз разрушения пласта-коллектора на ГМ.

Fig. 2. Diagnostics and forecast of reservoir failure in gas fields.

Таблица 1. НЕКОТОРЫЕ ВИДЫ ВМЕШАТЕЛЬСТВА В ПОРОДНО-ФЛЮИДАЛЬНУЮ СИСТЕМУ ГОРНОГО ОБЪЕКТА  
Table 1. Some types of intervention in the rock-fluid system of a mining object

Виды	Проявления
Флюидоразрыв	Разрыв среды давлением внедряющегося в неё флюида, создание трещин, снижающих прочностные характеристики породы на заданном участке или изменяющих проницаемость вмещающей среды. Используется для решения задач на действующих горных предприятиях, например, принудительного обрушения кровли, дегазации угольных пластов
Воздействие на флюидальную компоненту	Поддержание фильтрующейся части пластового флюида в однофазном состоянии, уменьшение остаточной нефтегазоконденсатонасыщенности, снижение вязкости пластовых флюидов
Воздействие на коллекторную компоненту	снижение фильтрационных сопротивлений при эксплуатации коллектора, повышение коэффициента охвата

Зоны контактов глин с песчаниками (покрышка-коллектор), являются одновременно областями развития (накопления) и разгрузки (сброса) напряжения. Здесь преломление и торможение трещин при их движении от менее плотных (акустически менее жёстких) в сторону более плотных и жёстких пород образует систему трещин и сколов (зона разуплотнения), по которой происходит фильтрация. Во всех случаях зоны переходов покрышек и коллекторов, а также контакты пластов алевролитов и песчаников с различной глинистостью, являются ослабленными зонами развития интенсивного разрушения и формирования каналов для струйного течения флюидов. Отмеченный механизм подтверждается многочисленными промысловыми материалами. А также имеют место и другие факторы, вызывающие разрушение пластов-коллекторов при эксплуатации ГМ, суть основных из них сводится тому, что релаксация горного давления при декомпрессировании газовой залежи приводит к формированию тангенциальных напряжений, разрушающих коллектор в ПЗП. Формирование сложно построенных многофазных потоков-флюидов наиболее интенсивно в ПЗП. Такие многофазные потоки образуются, как правило, при вторжении пластовых

вод, а также при разработке залежей с проявлением "внутреннего" водонапорного режима.

Ускоренное разрушение коллектора часто объясняется увеличением массового расхода флюида через ПЗП, а также породную стенку скважины в зоне фильтра, и пульсирующим характером фильтрации. Это связано с тем, что при высоких скоростях фильтрации флюида в пористой среде создаётся гидродинамическое давление, которое может превосходить предел прочности связи между элементами пористой структуры. В результате происходит разупрочнение скелета породы и вынос твёрдых механических примесей в ствол скважины [7].

Увеличение плотности фильтрующегося флюида происходит при обводнении скважин пластовыми водами (свободными, плёночными, остаточными). В этом случае при высоких дебитах газа вода может двигаться в диспергированном состоянии и, бомбардируя стенки каналов фильтрации, выбивать отдельные частицы из скелета пласта [8, 9].

Исследования показали, что передвижение воды в плёночном виде по стенкам пор и каналов тока уменьшает их просветность, и скорость флюидного потока в пережимах резко возрастает, вызывая ускоренное разрушение породы-коллектора. Возможно и действие расклинивающего эффекта тонких плёнок воды, которое также ведёт к отрыву частиц породы от стенок пор, каналов, трещин и т.п. При конденсации паров воды в ПЗП могут происходить процессы набухания глинистых минералов, растворения цемента коллектора. В тонких плёнках воды в капиллярных каналах должны возникать также и «фильтрационные» эффекты. При определённом сочетании размеров пор и скорости движения воды может происходить растворение минеральных веществ, цементирующих песчинки пласта-коллектора [10, 11]. Можно выделить некоторые возможные причины, вызывающие изменение структуры пласта-коллектора (рис. 3).

Фильтрационные свойства пласта-коллектора определяются, прежде всего, природными свойствами породы и функционированием таких взаимосвязанных и взаимовлияющих элементов добывающей системы, как скважина, прискважинная зона и межскважинная часть пласта.

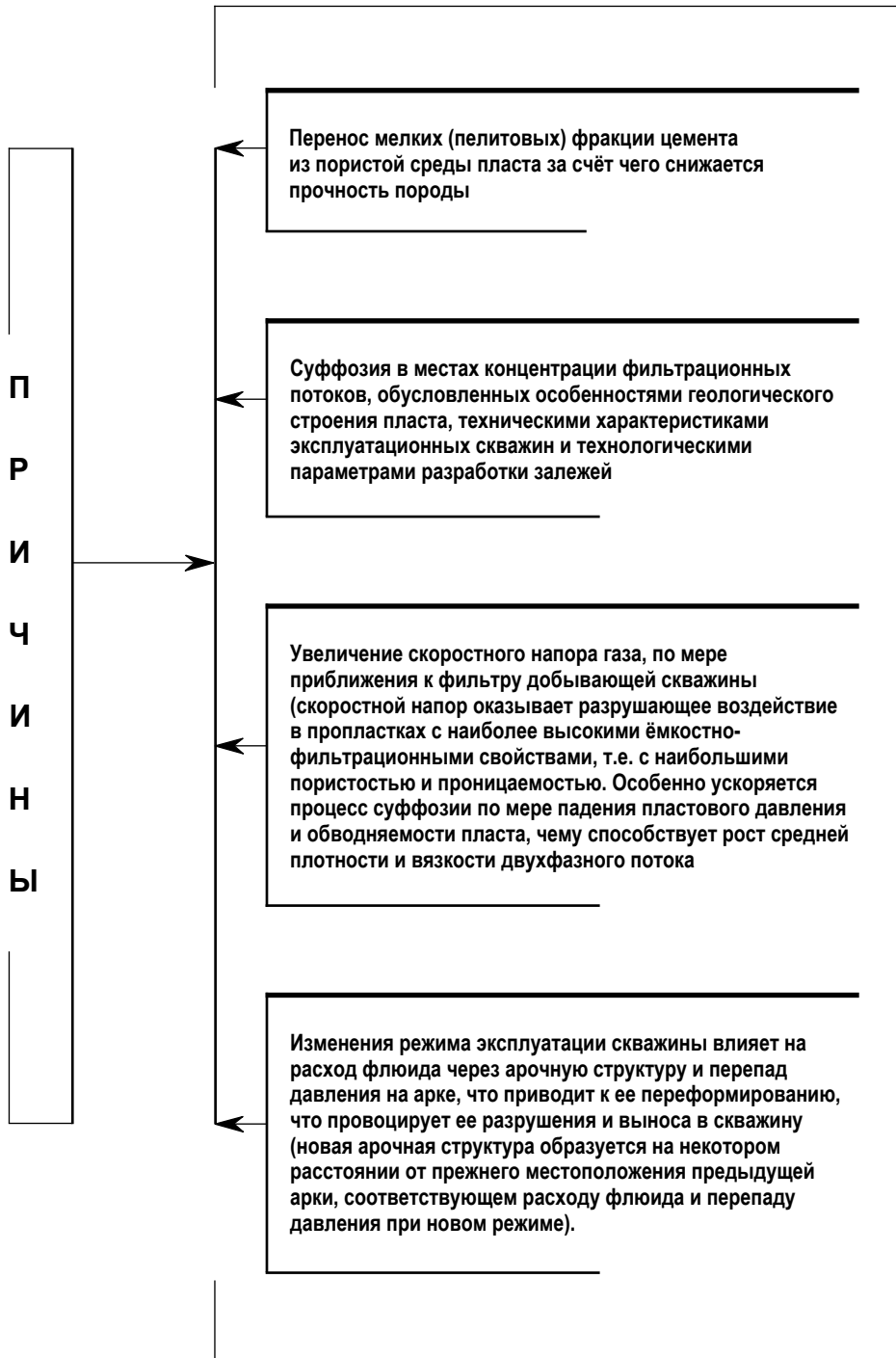


Рис. 3.

**Некоторые возможные причины, вызывающие изменение структуры пласта-коллектора.**

Fig. 3. Some possible causes of changes in the structure of the reservoir

При вскрытии пласта бурением и последующих технологических операций строительства и апробирования скважин, а также при капитальных ремонтах и других вмешательствах в породно-флюидальную систему, практически всегда происходит ухудшение фильтрационных свойств продуктивного пласта в околоскважинной зоне. Это приводит к снижению продуктивности скважин, потери значительной части пластовой энергии на преодоление фильтрационных сопротивлений [12].

Учитывая особенности падения давления в околоскважинной зоне, а именно резкое увеличение градиентов давления при приближении к стенке скважины, становится ясным, что среднюю проницаемость добывающей системы определяет проницаемость именно прискважинной области, несмотря на ее незначительные размеры.

В связи с вышеизложенным, понятно, что одним из основных факторов, определяющих поведение коллектора в околоскважинном (прифильтровом) пространстве, является и характер фильтрации флюида, а также тип его течения. При ламинарном типе течения флюида, как правило, наступает равновесие взаимодействующих сил, формирующих устойчивые арочные структуры и, соответственно, может замедляться темп разрушения пласта в условиях установившегося режима фильтрации.

При турбулентном режиме течения газа временные арочные структуры под воздействием пульсирующих скоростей и давлений разрушаются, что приводит к новым разрушениям пласта [13].

Снижение динамической полезной ёмкости коллектора происходит и при изменении насыщения пласта разными фазами по мере разработки залежей УВ. Образование граничных (аномальных) слоёв воды на поверхности скелета породы, а также пристанных слоёв, состоящих из "армированной" газом и (или) механическими микрочастицами остаточной воды, приводит к снижению просветности фильтрующих пор и каналов.

Существенной причиной, ускоряющей разрушение гранулярных коллекторов, является их неоднородное строение. Образование в пластах каверн устойчивости может временно задержать разрушение коллектора. Однако при больших размерах каверн вокруг ство-

ла скважины создаётся куполообразная область субвертикальных напряжений, сжимающих пласт в кольцеобразной зоне диаметром 2–5 м и более, что приводит к сужению каналов тока, а также к образованию временных арочных структур. При прохождении через такие кольцеобразные зоны сужения каналов потоков флюидов происходит дальнейшее разрушение пласта за счёт пульсирующих гидрорывов. Указанные механизмы разрушения коллекторов проявляются в пласте как отдельно, так и совместно в различных сочетаниях и являются взаимосвязанными и взаимообусловленными [14, 15].

Перечисленными механизмами и процессами не ограничивается перечень причин разрушения пластов-коллекторов. Многие из них являются ещё недостаточно изученными, а ряд процессов – малоизвестными. Представляется целесообразным проведение исследований по изучению механизмов разрушения коллекторов при процессах образования газовых эмульсий и пульсирующей фильтрации двухфазных (газ, вода) потоков.

Проведённые исследования показали необходимость разработки комплекса методов диагностики характера и масштабов разрушения ПЗП в ГМ на основе моделирования процессов преобразования структуры коллекторов при фильтрации сложных газодинамических потоков в условиях нестационарных фазовых проницаемостей. Результаты исследований разрушающего воздействия различных процессов, происходящих в продуктивных пластах при разработке, должны быть основой рекомендаций, технических и технологических мероприятий по сохранению и восстановлению прочностных и фильтрационных характеристик коллекторов различного типа.

Анализ промысловой геолого-технической информации, раскрывающей основные причины, механизмы и масштабы разрушения продуктивных коллекторов, проводились преимущественно по базовым месторождениям Западной Сибири, а именно скважинам сеноманских залежей. Для этих продуктивных пластов, которые большинство ГМ являются истощенными, были выявлены при предельно допустимой депрессии на установившихся режимах. А также подтверждено, что для таких залежей разрушение стенки за-

Таблица. СОДЕРЖАНИЕ ПРОДУКТОВ РАЗРУШЕНИЯ КОЛЛЕКТОРА (ПЕСКА) И ВОДЫ В ПРОДУКЦИИ СКВАЖИН СЕНОМАНСКОЙ ЗАЛЕЖИ НА РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ  
Table. The content of reservoir destruction products (sand) and water in the production of Cenomanian wells under various operating conditions

№ скв.	Рабочие параметры и режимы исследования			Определено в природе «Надым»			Конден. вода при	Минерализ. проб, г/л	Содержание пластовой и остаточной воды		
	D, мм	P <sub>y</sub> , кг/сут	T <sub>y</sub> , °C	Q, тысн м <sup>3</sup> /сут	W <sup>???</sup> , г/м <sup>3</sup>	W <sub>сск.</sub> , мг/м <sup>3</sup>			W, г/л	P <sub>y</sub> и T <sub>y</sub> , г/м <sup>3</sup>	по данным хим. анализа, %
01	22,5	75,0	15,0	722	0,12			0,270	0,874	3,4	0
	25,5	74,3	15,6	586	0,29	4,42	15,24	0,283		3,4	30,9
	28,5	73,5	15,7	731	0,10	2,36	23,6	0,272		3,4	0
	31,5	72,5	15,7	879	0,16	8,85	55,3	0,268		3,4	0
	35,0	71,4	15,7	1022	0,16	6,73	42,1	0,265		3,4	0
	22,5	75,0	15,0	1156	0,20	7,48	37,4	0,283		3,4	59
				585	0,12	2,05	24,5			3,4	0
<b>Вода конденсационная с примесью пластовой или связанной остаточной воды</b>											
02	22,5	73,7		648	0,1			0,232	0,964	3,8	0
	25,5	75,0	11,0	594	0,08	4,36	54,5	0,302		3,8	0
	28,5	71,0	14,0	734	0,07	2,35	33,5	0,251		3,8	0
	31,5	73,2	16,0	882	0,08	3,12	49,0	0,224		3,8	0
	35,0	71,9	16,0	1031	0,12	3,35	27,9	0,220		3,8	0
		69,9	16,0	1126	0,14	4,32	31,2	0,215		3,8	0
<b>Вода конденсационная с большой примесью техногенной (раствор CaCl<sub>2</sub>)</b>											
03	22,5	73,7	15,2	564	0,18			0,22	0,950	3,7	13,5
	25,5	73,7	15,9	562	0,17	4,61	27,1	0,24		3,7	0
	28,5	72,7	16,0	693	0,10	6,24	62,4	0,225		3,7	0
	31,5	70,2	15,5	820	0,16	15,80	98,7	0,221		3,7	2,3
	35,0	68,2	15,2	957	0,15	13,54	90,2	0,226		3,7	0
				1076	0,28	16,06	57,3	0,225		3,7	43,9
<b>Вода конденсационная с большой примесью пластовой или связанной остаточной воды</b>											
04		73,7		731	0,18			0,218	0,827	3,2	14,5
	22,5	74,9	16,2	578	0,08	1,49	18,6	0,226		3,2	0
	25,5	72,9	16,4	706	0,10	1,22	12,2	0,220		3,2	0
	28,5	71,7	16,5	834	0,15	1,55	10,3	0,215		3,2	0
	31,5	71,9	16,2	968	0,20	2,68	13,4	0,217		3,2	23,3
	35,0	69,9	16,0	1108	0,28	4,68	16,7	0,216		3,2	46,4
<b>Вода конденсационная с большой примесью техногенной (фильтрат бурового раствора, раствор CaCl<sub>2</sub>)</b>											

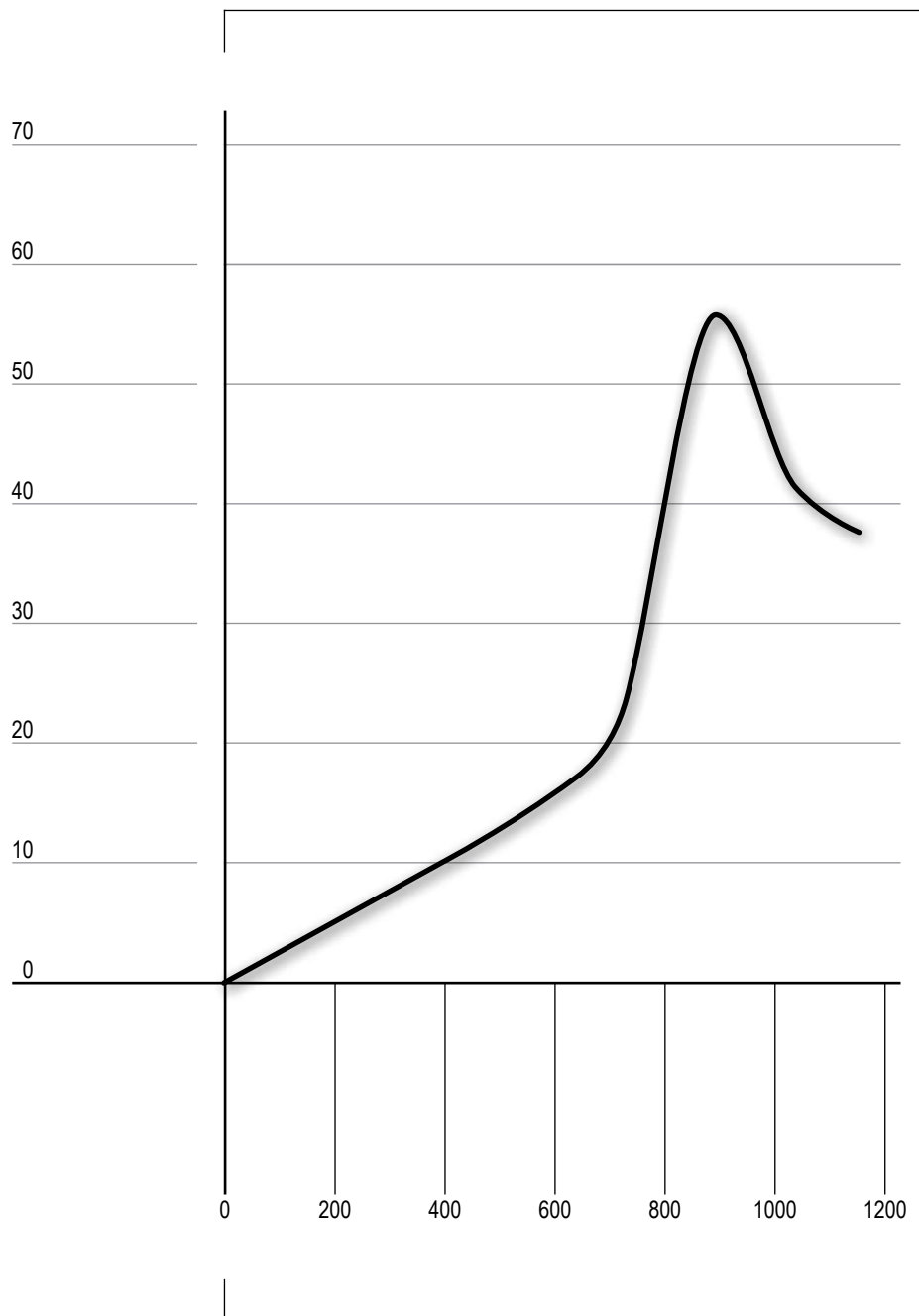
Рис. 4. График зависимости отношения удельного содержания продуктов разрушения коллектора (песка) и воды в продукции скважины от режима ее эксплуатации.

Fig. 4. Graph of the relationship between the specific content of reservoir destruction products (sand) and water in the well output and the well operating mode.

боя скважины происходит при депрессии и существенно зависит от деформационно-прочностных параметров пласта-коллектора. Эти процессы сопровождаются изменением структуры пласта и снижением коэффициента проницаемости. Увеличение скорости потока газа из пласта в совокупности с другими факторами ускоряет процесс разрушения скелета породы-коллектора [16–19]. Другой особенностью коллекторов сеноманской залежи является наличие подошвенных вод или близко расположенных к продуктивной зоне водонасыщенных пластов при незначительных слабопроницаемых перемычках. С целью выяснения степени влияния различных причин (механизмов) разрушения пласта и образования на забоях скважин осадков из песчано-глинистых разностей был проведён анализ данных исследований скважин и условий эксплуатации по эксплуатационному фонду месторождений Западной Сибири. Было установлено, что минерализация и солевой состав конденсационных вод в некоторой степени зависят от минерализации и состава остаточных и пластовых вод, с которыми в контакте находится содержащийся в пласте-коллекторе газ, а также от термобарических условий. Установлено, что на минерализацию и солевой состав паровой фазы воды влияют и размеры пор коллекторов [18–20]. При различных режимах эксплуатации скважин происходит разрушение породы пласта, а продукты разрушения коллектора (песка) и воды в продукции поступает в ПЗП (табл. 2).

Содержание выносимого из продуктивных пластов остаточной воды в составе извлекаемой жидкости может достигать 4–6%. Поступающая в ПЗП газонасыщенная остаточная вода с наибольшей депрессией дегазируется наиболее интенсивно и скорость расширения (разбегания стенок) имеет высокие значения, и микропузырьки (первая фаза кавитации) создают ударные гидродинамические нагрузки на стенки пор и каналов, разрушая, таким образом, коллектор.

Частичное удаление из сеноманского пласта-коллектора остаточной воды, например при дебитах газа в 600–1000 тыс. м<sup>3</sup>/сут, выносилось до 0,3 м<sup>3</sup>/сут смеси из конденсационной и остаточной вод. Содержание последней колебалось в пределах 3–4 %. Графики зависимости отношения удельного содержания продуктов разруше-



**Рис. 4.** График зависимости отношения удельного содержания продуктов разрушения коллектора (песка) и воды в продукции скважины от режима ее эксплуатации.

Fig. 4. Graph of the relationship between the specific content of reservoir destruction products (sand) and water in the well output and the well operating mode.

ния коллектора (песка) и воды в продукции скважин сеноманской залежи Западной Сибири от режимов их эксплуатации показывают, что по мере роста дебитов происходит увеличение интенсивности разрушения коллекторов в зависимости от содержания в продукции скважин остаточной воды (рис. 4).

Это происходит лишь до достижения определенной величины дебитов газа (600–8000 тыс.  $\text{м}^3/\text{сут}$ ). Дальнейшее увеличение дебитов (до 1000 тыс.  $\text{м}^3/\text{сут}$  и более) приводит уже к снижению темпа разрушения пласта, выражающегося в уменьшении отношения удельного содержания песка и воды, выносимых вместе с газом из скважин. Эти факты свидетельствуют, что уже на режимах, обеспечивающих дебиты газа в 600–800 тыс.  $\text{м}^3/\text{сут}$  достигаются такие скорости истечения газа через поры и каналы ПЗП, что происходит «осушка» пласта, которая приводит к повышению устойчивости пород прифилтровой зоны к разрушению, что и отражается в снижении «концентрации» песка в выносимой воде, содержащей примеси пластовой и остаточной.

В результате сравнения данных гранулометрического и минералогического (микроскопического) анализов песка, выносимого из скважин в различные годы, можно сделать вывод, что по мере обработки запасов сеноманской залежи увеличивается темп разрушения продуктивного пласта.

В методическом плане полученные материалы позволяют оценивать состояние пласта и ПЗП, диагностировать наличие каверн (пустот) за колонной-фильтром, прогнозировать изменения геолого-физических параметров системы скважина-пласт в процессе разработки.

### **Заключение**

Эксплуатация газоносных пластов повсеместно сопровождается разрушением матрицы породы-коллектора, причём наиболее опасными по своим последствиям являются разрушения, происходящие в околоскважинной зоне пласта.

Установлен механизм разрушения пласта-коллекторов при движении потоков флюидов в кольцеобразных зонах сужения каналов из-за пульсирующих гидропневмударов, которые проявляются

в пласте как отдельно, так и совместно в различных сочетаниях и являются взаимосвязанными и взаимообусловленными.

Выявлено, что ударные гидродинамические нагрузки на стенки пор и каналов провоцируют разрушения коллекторов, которым способствует поступающая в околоскважинной зоне пласта газонасыщенная остаточная вода с наибольшей депрессией, которая дегазируется наиболее интенсивно и имеет высокую скорость расширения из-за образующегося микропузырьков (первая фаза кавитации).

Неизбежными процессами, сопровождающими добычу газа и приводящими к разрушению со временем коллекторов любой прочности, являются процессы формирования и разрушения газовой эмульсии при дегазации пластовых вод любого генезиса.

Силы сцепления пузырьков газа с твердой поверхностью стенок пор и каналов настолько велики, что позволяет им удерживаться в сужениях пор и каналов фильтрации в неподвижном состоянии при градиентах давления в 2,0 МПа/м.

Результаты исследования по аналитическому моделированию процессов разрушения коллекторов в условиях фильтрации флюидов показали реальность существования процессов формирования микрогазовых эмульсий (микропузырьковые газожидкостные среды) и неизбежность кавитационного разрушения продуктивного пласта в течение всего времени, пока осуществляется добыча газа из залежи.

Выявлены предпосылки создания принципиально новых технических и технологических решений для диагностики состояния околоскважинной зоны пласта (оценка наличия и размеров каверн в прифильтровой части пласта), прогнозирования темпов и масштабов разрушения коллектора, которые позволяют повысить эффективность разработки продуктивной залежи и продлить эксплуатацию скважин с высокими добывными характеристиками на базовых газовых месторождениях.

#### **Список источников**

1. Гасумов Э. Р., Гасумов Р. А. Особенности цифрового фильтрационного моделирования продуктивных залежей // Наука. Инновации. Технологии. 2021. № 2. С. 7–28.
2. Gasumov R. A., Gasumov E. R., Minchenko Yu. S. Features

- of the creation of underground reservoirs in depleted gas condensate field's article // Notes of the Mining Institute. 2020. Vol. 244. P. 418-427. <https://doi.org/10.31897/PMI.2020.4.4>
3. Gasumov R. A. and others. Development of a three-dimensional geological model of the upper control horizons and near-surface sediments for investigation of the system of monitoring the tightness of the underground storage // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering. 2022. Vol. 333 (6). P. 86–95. <https://doi.org/10.18799/24131830/2022/6/3739>
  4. Кю Н. Г. Особенности и проблемы флюидоразрывов породных массивов // Сибирское отделение РАН, ФТПРПИ. 2017. № 5. С. 44–56.
  5. Маврин К. А. Виды взаимодействия «флюид–порода» в процессе эволюции геогидродинамических систем осадочно-породных бассейнов // Известия Саратовского университета. 2008. Т. 8. Вып. 1. С. 50–56.
  6. Химуля В. В., Барков С. О. Исследование процессов фильтрации и разрушения в породах-коллекторах подземных хранилищ газа с использованием цифрового анализа данных компьютерной томографии // Ученые записки физического факультета Московского университета. 2023. № 4. С. 234. <https://doi.org/0502-1/2340502-8>.
  7. Методика выделения и разделения по типам пустотного пространства сложных трещинно-каверново-поровых карбонатных коллекторов на основе данных керна и геофизических исследований скважин / Е. А. Зарай, М. К. Шевелева, Д. А. Локшин, А. Т. Ахмадишин // Экспозиция Нефть Газ. 2024. № 9. С. 64–71. <https://doi.org/10.24412/2076-6785-2024-9-64-71>.
  8. Билянский К. В. Борьба с обводнением скважин // Молодой ученый. 2020. № 7(297). С. 16–18.
  9. Developing features of the near-bottomhole zones in productive formations at fields with high gas saturation of formation oil / V. I. Galkin, D. A. Martyushev, I. N. Ponomareva, I. A. Chernykh // Journal of Mining Institute. 2021. Vol. 249. P. 386-392. <https://doi.org/10.31897/PMI.2021.3.7>.
  10. Гильманова Н. В., Тарачева Е. С., Сивкова А. В. Прогноз зон наличия капиллярно-защемленной нефти для низкопроницаемых коллекторов при обосновании остаточной нефтенасыщенности различными способами // Нефтепромысловое дело. 2020. № 2 (614). С. 12–18.

11. Леденев В. В., Однолько В. Г., Нгуен З. Х. Теоретические основы механики деформирования и разрушения. Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2013. 312 с.
12. Гасумов Р. А., Гасумов Э. Р. О выборе водоносного горизонта в качестве поглощающего пласта-коллектора для захоронения промышленных стоков // Наука. Инновации. Технологии. 2025. № 1. С. 149–176. <https://doi.org/10.37493/2308-4758.2025.1.7>
13. Свалов А.М. Геомеханический анализ процесса разрушения призабойных зон и затрубного пространства скважин при эксплуатации подземных хранилищ газа //Актуальные проблемы нефти и газа. 2025. Том 16. № 1. С. 99–109. <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2025.03>
14. On the causes of deterioration of the bottomhole formation zone and recommendations for preserving reservoir properties / G.S. Dubinsky, V.E. Andreev, F.Yu. Kanzafarov, V.S. Mukhametshin // IOP Materials Science and Engineering Conference Series. 2020. Vol. 905(1). P.012-079. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/905/1/012079>
15. Эксплуатация скважин на завершающей стадии разработки месторождений / Д. А. Кряквин, Д. А. Кустышев, М. Г. Гейхман, В. Н. Никифоров // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2010. № 4 (82). С. 28–33.
16. Аксенова Н. А., Овчинников В. П., Анашкина А. Е. Технология и технические средства заканчивания скважин с неустойчивыми коллекторами: монография. Тюмень: ТИУ, 2018. 134 с.
17. Puthalath R., Chivukula M. S., Surendranathan A. O. Reservoir formation damage during various phases of oil and gas recovery- an overview // International Journal of Earth Sciences and Engineering. 2012. No. 5(2). P. 224-231.
18. Свалов А. М. Геомеханический анализ процесса разрушения призабойных зон и затрубного пространства скважин при эксплуатации подземных хранилищ газа // Актуальные проблемы нефти и газа. 2025. Т. 16. № 1. С. 99–109. <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2025.03>
19. Anyadiegwu C. I. C., Muonagor C. M. Effects of Formation Damage on Productivity of Underground Gas Storage Reservoirs //Asia Pacific Journal of Multidisciplinary Research. 2013. Vol. 1. No. 1. P. 188–197.
20. Khabibullin M. Ya. Study of the mechanism of destruction of the bottomhole formation zone by the filtration flow of formation

fluid and prevention of plug formation in the well // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering. 2021. V. 332. 10. 86–94. <https://doi.org/10.18799/24131830/2021/10/3397>

### References

1. Gasumov ER, Gasumov RA. Features of digital filtration modeling of productive deposits Science. Innovations. Technologies. 2021;(2):7-28. (In Russ.).
2. Gasumov RA, Gasumov ER, Minchenko YuS. Features of the creation of underground reservoirs in depleted gas condensate field's article. Notes of the Mining Institute. 2020;(244):418-427. (In Russ.). <https://doi.org/10.31897/PMI.2020.4.4>
3. Gasumov RA et al. Development of a three-dimensional geological model of the upper control horizons and near-surface sediments for investigation of the system of monitoring the tightness of the underground storage. Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering. 2022;333(6):86-95. (In Russ.). <https://doi.org/10.18799/24131830/2022/6/3739>
4. Kyu NG. Features and problems of fluid fracturing of rock masses. Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, FTPPRPI. 2017;(5):44-56. (In Russ.)
5. Mavrin KA. Types of fluid-rock interaction in the evolution of geohydrodynamic systems of sedimentary-rock basins. Bulletin of Saratov University. 2008;8(1):50-56. (In Russ.)
6. Khimulya VV, Barkov SO. Study of filtration and destruction processes in reservoir rocks of underground gas storage facilities using digital analysis of computed tomography data. Scientific Notes of the Physics Faculty of Moscow University. 2023; 4. <https://doi.org/2340502-1/2340502-8> (In Russ.)
7. Zaray EA, Sheveleva MK, Lokshin DA, Akhmadishin AT. Methodology for identifying and separating complex fractured-cavern-pore carbonate reservoirs by void space types based on core data and well logging. Oil Gas Exposure. 2024;(9): 64-71. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2076-6785-2024-9-64-71>.
8. Bilyansky KV. Combating well flooding Young scientist. 2020;7(297):16–18. (In Russ.).
9. Galkin VI, Martyushev DA, Ponomareva IN, Chernykh IA. Developing features of the near-bottomhole zones in produc-

- tive formations at fields with high gas saturation of formation oil. *Journal of Mining Institute*. 2021;249:386-392. (In Russ.). <https://doi.org/10.31897/PMI.2021.3.7>
10. Gil'manova NV, Taracheva ES, Sivkova AV. Forecasting the presence of capillary-trapped oil zones for low-permeability reservoirs when justifying residual oil saturation by various methods. *Oil Field Engineering*. 2020;2(614):12-18. (In Russ.).
  11. Ledenev VV, Odnolko VG, Nguyen ZKh. *Theoretical Foundations of Deformation and Fracture Mechanics*. Tambov: Publishing house of "TSTU", 2013. P. 312. (In Russ.).
  12. Gasumov RA, Gasumov ER. On the selection of an aquifer as an absorbing reservoir for the disposal of industrial wastewater. *Science. Innovations. Technologies*. 2025;(1):149-176. (In Russ.). <https://doi.org/10.37493/2308-4758.2025.1.7>
  13. Svalov AM. Geomechanical analysis of the process of destruction of the bottomhole zones and annular space of wells during the operation of underground gas storage facilities. *Actual Problems of Oil and Gas*. 2025;16(1):99-109. (In Russ.). <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2025.03>
  14. Dubinsky GS, Andreev VE, Kanzafarov FYu, Mukhametshin VS. On the causes of deterioration of the bottomhole formation zone and recommendations for preserving reservoir properties. *IOP Materials Science and Engineering Conference Series*. 2020;905(1):012-079. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/905/1/012079>
  15. Kryakvin DA, Kustyshev DA, Geykhman MG, Nikiforov VN. Well Operation at the Final Stage of Field Development. *News of Higher Educational Institutions. Oil and Gas*. 2010;4(82):28-33. (In Russ.).
  16. Aksenova NA, Ovchinnikov VP, Anashkina AE. *Technology and Technical Means of Completing Wells with Unstable Reservoirs*. Tyumen: TIU; 2018. P. 134. (In Russ.).
  17. Puthalath R, Chivukula MS, Surendranathan AO. Reservoir Formation Damage During Various Phases of Oil and Gas Recovery - an Overview. *International Journal of Earth Sciences and Engineering*. 2012;5(2):224-231. (In Russ.).
  18. Svalov AM. Geomechanical analysis of the process of destruction of bottomhole zones and annulus of wells during operation of underground gas storage facilities. *Actual problems of oil and gas*. 2025;16(1):99-109. (In Russ.). <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2025.03>

19. Anyadiegwu CIC, Muonagor CM. Effects of Formation Damage on Productivity of Underground Gas Storage Reservoirs. *Asia Pacific Journal of Multidisciplinary Research*. 2013;1(1):188-197.
20. Khabibullin MYa. Study of the mechanism of destruction of the bottomhole formation zone by the filtration flow of formation fluid and prevention of plug formation in the well. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2021;332(10):86-94. <https://doi.org/10.18799/24131830/2021/10/3397>

### **Информация об авторах**

**Рамиз Алиджавад-оглы Гасумов** – доктор технических наук, профессор, академик РАН, профессор, Северо-Кавказский федеральный университет, Scopus ID: 6507302404.

**Эльдар Рамизович Гасумов** – кандидат экономических наук, доцент, докторант Азербайджанский технический университет, Scopus ID: 57217090200.

**Юлианна Константиновна Димитриади** – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой, Северо-Кавказский федеральный университет, Scopus AuthorID 57219180382.

**Абдул-Гапур Гусейнович Керимов** – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой нефтегазовой геофизики, Северо-Кавказский федеральный университет Scopus ID: 56872657000

**Наталья Григорьевна Федорова** – доктор технических наук, профессор кафедры строительства нефтяных и газовых скважин Северо-Кавказский федеральный университет, Scopus ID: 7102881216

### **Вклад авторов**

**Рамиз Алиджавад-оглы Гасумов.** Проведены исследования – сбор, интерпретация и анализ полученных данных. Утверждение окончательного варианта – принятие ответственности за все аспекты работы, целостность всех частей статьи и ее окончательный вариант.

**Эльдар Рамизович Гасумов.** Подготовка и редактирование текста, рисунки – составление черновика рукописи и формирование его окончательного варианта, участие в научно дизайне.

**Юлианна Константиновна Димитриади.** Проведены исследования – сбор, интерпретация и анализ полученных данных.

**Абдул-Гапур Гусейнович Керимов.** Проведены исследования – сбор, интерпретация и анализ полученных данных.

**Наталья Григорьевна Федорова.** Проведены исследования – сбор, интерпретация и анализ полученных данных.

### **Information about the authors**

**Ramiz A. Gasumov** – Dr. Sci. (Techn.), Professor, Academician of the Russian Academy of Natural Sciences, Professor, North-Caucasus Federal University (1, Pushkin St., Stavropol, 355017, Russian Federation), Scopus ID: 6507302404.

**Eldar R. Gasumov** – Cand. Sci. (Econ), Associate Professor, doctoral student Azerbaijan Technical University (25, Huseyn Javid Ave., Baku, Azerbaijan Republic), Scopus ID: 57217090200.

**Yulianna K. Dimitriadi** – Cand. Sci. (Techn.), Associate Professor, Head of Department, North-Caucasus Federal University, Scopus AuthorID 57219180382.

**Abdul-Gapur G. Kerimov** – Dr. Sci. (Tech.), Associate Professor, Head of the Department of Oil and Gas Geophysics, North-Caucasus Federal University Scopus ID: 56872657000

**Natalia G. Fedorova** – Dr. Sci. (Tech.), Professor, the Department of Oil and Gas Well Construction, North-Caucasus Federal University, Scopus ID: 7102881216

### **Contribution of the authors**

**Ramiz A. Gasumov.** Research was carried out – collection, interpretation and analysis of the data obtained. Approval of the final version - acceptance of responsibility for all aspects of the work, the integrity of all parts of the article and its final version.

**Eldar R. Gasumov.** Preparation and editing of text, drawings - drafting the manuscript and forming its final version, participation in scientific design.

**Yulianna K. Dimitriadi.** Collection, interpretation and analysis of the obtained data.

**Abdul-Gapur G. Kerimov.** Collection, interpretation and analysis of the obtained data.

**Natalia G. Fedorova.** Collection, interpretation and analysis of the obtained data.