

УДК 622.2

<https://orcid.org/0009-0004-3653-4474><https://orcid.org/0009-0008-1562-2255><https://orcid.org/0009-0004-6336-5952><https://orcid.org/0009-0005-2793-4289><https://orcid.org/0009-0009-9464-9161>

ОТБОР ОБЪЕКТОВ РАЗМЕЩЕНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СКВАЖИН, ИНТЕГРАЛЬНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ РАЗВЕДКИ И РАЗРАБОТКИ ПО ПЕРМСКОЙ СИСТЕМЕ СКВАЖИНЫ Т-Н101 В СТРУКТУРЕ ТАКЫР



ЯНЬЦИН ЦЗИНЬ¹,
магистр, геофизик,
jingyanqing@cnlc.cn



А. АМИРХАНОВА²,
магистр, заместитель
начальника отдела
юридического контроля
и аудита,
aselcnlc@gmail.com



КАЙЮАНЬ ЛИ³,
инженер разведочных
работ,
likaiyuan@cnlc.cn



ДЭЮАНЬ ЦЗЭН⁴,
финансист,
zdy@cnlc.cn



ДЭН ЧЖАН⁵,
начальник отдела
автоматизации и механизации
производственных процессов,
zhangdeng@cnlc.cn

¹КАФЕДРА «РАЗВЕДОЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ИНЖЕНЕРИЯ»,
СЕВЕРО-ВОСТОЧНЫЙ НЕФТЯНОЙ УНИВЕРСИТЕТ
163318, ул. Сюэфу, 99, Дацин, Китай

²КАФЕДРА «ИНОСТРАННЫЙ ЯЗЫК: ДВА ИНОСТРАННЫХ ЯЗЫКА»,
УНИВЕРСИТЕТ МЕЖДУНАРОДНОГО БИЗНЕСА ИМ. КЕНЖЕГАЛИ САГАДИЕВА
Республика Казахстан, 050010, г. Алматы, проспект Абая 8а

³КАФЕДРА «ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ИНЖЕНЕРИЯ»
УНИВЕРСИТЕТ ЯНЦЗЫ
434023, улица Наньхуан, 1, Цзинчжоу, Китай

⁴КАФЕДРА «ФИНАНСОВОЕ ДЕЛО»
АКАДЕМИЯ МЕЖДУНАРОДНОЙ ТОРГОВЛИ И ЭКОНОМИЧЕСКОГО
СОТРУДНИЧЕСТВА МИНИСТЕРСТВА КОММЕРЦИИ
100011, переулок Анвайдонг Бэк, 28, Дунчэн, Пекин, Китай

⁵КАФЕДРА «АВТОМАТИЗАЦИЯ» СЕВЕРО-ВОСТОЧНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
110003, улица Вэньхуа, 3-11, Шэньян, Китай

Геологическое исследование региона скважины Т-Н101 в структуре Такыр представляет собой актуальную задачу, поскольку эффективная добыча углеводородов требует глубокого понимания геологической структуры.

Целью данного исследования является разработка комплексной методологии отбора объектов размещения горизонтальных скважин для КТ-II отложений и интегрального планирования разведки и разработки по пермской системе в районе скважины Т-Н101. Исследование было проведено с помощью методов анализа, сравнения, моделирования геологических процессов, систематизации и синтеза.

В процессе исследования был проведен анализ стратегий добычи углеводородов и подходов к выбору размещения горизонтальных скважин. Представлено интегральное планирование разведки и разработки в пермских отложениях для района скважины Т-Н101 в структуре Такыр, ориентированное на оптимальное размещение скважин с учетом геологических и экономических факторов.

Разработан эффективный стратегический план, учитывающий структурные, стратиграфические и гидрогеологические особенности. Исследование выявило оптимальные расположение горизонтальных скважин КТ-II отложений, основываясь на глубоком теоретическом анализе геологических структур региона скважины Т-Н101.

Результатом есть разработанная методология отбора объектов размещения горизонтальных скважин для КТ-II отложений по каменноугольной системе.

Данная методология включает в себя механизмы обратной связи, которые позволяют корректировать стратегии разведки и разработки, обеспечивая гибкость и эффективность в условиях переменчивости геологических условий, изменений в рыночной конъюнктуре и технологических инноваций.

В результате, оптимальное распределение горизонтальных скважин осуществляется на основе комплексного анализа геофизических и геологических данных, что позволяет выявить наиболее перспективные участки с целью максимизации добычи углеводородов. Полученные результаты представляют собой ценный вклад в разработку эффективных стратегий добычи углеводородных ресурсов с учетом множества факторов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: геология, сейсмическое исследование, углеводородные ресурсы, пластовые характеристики, геофизический анализ, экологичность.

ТАҚЫР ҚҰРЫЛЫМЫНДА Т-Н101 ҰҢҒЫМАСЫНА КӨЛДЕНЕҢ ҰҢҒЫМАЛАРДЫ ОРНАЛАСТЫРУ, БАРЛАУ МЕН ИГЕРУДІ ИНТЕГРАЛДЫҚ ЖОСПАРЛАУ ОБЪЕКТІЛЕРІН ТАҢДАУ

Яньцин Цзинь¹, магистр дәрежесі, геофизик, jingyanqing@cnci.cn

А. Әмірханова², магистр дәрежесі, Құқықтық бақылау және аудит басқармасы басшысының орынбасары, aselcnci@gmail.com

Кайюань Ли³, бакалавр деңгейі, барлау инженері, likaiyuan@cnci.cn

Дэюань Цзэн⁴, магистр дәрежесі, қаржыгер, zdy@cnci.cn

Дэн Чжан⁵, бакалавр, өндірістік процестерді автоматтандыру және механикаландыру бөлімінің меңгерушісі, zhangdeng@cnci.cn

¹"БАРЛАУ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫ ЖӘНЕ ИНЖЕНЕРИЯ" КАФЕДРАСЫ
СОЛТҮСТІК-ШЫҒЫС МҰНАЙ УНИВЕРСИТЕТІ
163318, Сюефу көшесі, 99, Дацин, Қытай

²"ШЕТ ТІЛІ: ЕКІ ШЕТ ТІЛІ" КАФЕДРАСЫ КЕНЖЕФАЛИ САҒАДИЕВ АТЫНДАҒЫ ХАЛЫҚАРАЛЫҚ
БИЗНЕС УНИВЕРСИТЕТІ
Қазақстан Республикасы, 050010, Алматы қ., Абай даңғылы 8А,

³"ГЕОЛОГИЯЛЫҚ БАРЛАУ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫ ЖӘНЕ ИНЖЕНЕРИЯ" КАФЕДРАСЫ
ЯНЦЗЫ УНИВЕРСИТЕТІ
434023, Нанхуан көшесі, 1, Цзиньчжоу, Қытай

⁴"ҚАРЖЫ ДЕЛО"КАФЕДРАСЫ САУДА МИНИСТРЛІГІНІҢ ХАЛЫҚАРАЛЫҚ САУДА
ЖӘНЕ ЭКОНОМИКАЛЫҚ ЫНТЫМАҚТАСТЫҚ АКАДЕМИЯСЫ
100011, Анвайдонг артқы аллеясы, 28, Дунчэн, Пекин, Қытай

⁵"АВТОМАТТАНДЫРУ" КАФЕДРАСЫ СОЛТҮСТІК-ШЫҒЫС УНИВЕРСИТЕТІ
110003, Вэньхуа көшесі, 3-11, Шэньян, Қытай

Тақыр құрылымындағы Т-Н101 ұңғымасының аймағын геологиялық зерттеу өзекті міндет болып табылады, өйткені көмірсутектерді тиімді өндіру геологиялық құрылымды терең түсінуді талап етеді. Бұл зерттеудің мақсаты КТ-II шөгінділері үшін көлденең ұңғымаларды орналастыру объектілерін іріктеудің және т-Н101 ұңғымасы ауданында Пермь жүйесі бойынша барлау мен игеруді интегралды жоспарлаудың кешенді әдіснамасын өзірлеу болып табылады. Зерттеу геологиялық процестерді талдау, салыстыру, модельдеу, жүйелеу және синтездеу әдістері арқылы жүргізілді. Зерттеу барысында көмірсутектерді өндіру стратегиялары мен көлденең ұңғымаларды орналастыруды таңдау тәсілдеріне талдау жасалды. Геологиялық және экономикалық факторларды ескере отырып, Ұңғымаларды оңтайлы орналастыруға бағытталған Т-Н101 ұңғымасының Тақыр құрылымындағы ауданы үшін Пермь шөгінділерінде барлау мен игеруді интегралды жоспарлау ұсынылған. Құрылымдық, стратиграфиялық және гидрогеологиялық ерекшеліктерді ескеретін тиімді стратегиялық жоспар өзірленді. Зерттеу Т-Н101 ұңғымасы аймағының геологиялық құрылымдарын терең теориялық талдауға негізделген КТ-II шөгінділерінің көлденең ұңғымаларының оңтайлы орналасуын анықтады. Нәтижесінде көмір жүйесі бойынша КТ-II шөгінділері үшін көлденең ұңғымаларды орналастыру объектілерін іріктеудің өзірленген әдістемесі бар. Бұл әдістеме геологиялық жағдайлардың өзгергіштігі, нарықтық жағдайдағы өзгерістер және технологиялық инновациялар жағдайында икемділік пен тиімділікті қамтамасыз ете отырып, барлау және өзірлеу стратегияларын түзетуге мүмкіндік беретін кері байланыс тетіктерін қамтиды. Нәтижесінде көлденең ұңғымаларды оңтайлы бөлу геофизикалық және геологи-

ялық деректерді кешенді талдау негізінде жүзеге асырылады, бұл көмірсутектерді өндіруді барынша арттыру мақсатында ең перспективалы учаскелерді анықтауға мүмкіндік береді. Нәтижелер көптеген факторларды ескере отырып, көмірсутек ресурстарын өндірудің тиімді стратегияларын әзірлеуге құнды үлес қосады.

ТҮЙІНДІ СӨЗДЕР: геология, сейсмикалық зерттеу, көмірсутек ресурстары. қабаттың сипаттамалары, геофизикалық талдау, экологиялық таза.

SELECTION OF PLACEMENT SITES FOR HORIZONTAL WELLS, INTEGRATED EXPLORATION AND DEVELOPMENT PLANNING UNDER THE PERMIAN SYSTEM FOR THE T-N101 WELL WITHIN THE TAKYR STRUCTURE

Yanqing Jin¹, master's degree, geophysicist, jingyanqing@cnlc.cn

A. Amirkhanova², Master's degree, Deputy Head of the Department of Legal Control and Audit, aselcnlc@gmail.com

Kaiyuan Li³, Bachelor's degree, exploration engineer, likaiyuan@cnlc.cn

Deyuan Zeng⁴, master's degree, financier, zdy@cnlc.cn

Deng Zhang⁵, Bachelor's degree, head of the department of automation and mechanization of production processes, zhangdeng@cnlc.cn

¹DEPARTMENT OF EXPLORATION TECHNOLOGIES AND ENGINEERING
NORTHEASTERN PETROLEUM UNIVERSITY
163318, st. Xuefu Ave. 99, Daqing, China

²DEPARTMENT OF "FOREIGN LANGUAGE: TWO FOREIGN LANGUAGES"
KENZHEGALI SAGADIEV UNIVERSITY OF INTERNATIONAL BUSINESS
050010, Abai Avenue 8a, Almaty, Kazakhstan

³DEPARTMENT OF GEOLOGICAL EXPLORATION TECHNOLOGIES
AND ENGINEERING YANGTZE UNIVERSITY
434023, 1 Nanhuang Road, Jingzhou, China

⁴DEPARTMENT OF "FINANCIAL AFFAIRS" ACADEMY OF INTERNATIONAL TRADE
AND ECONOMIC COOPERATION OF THE MINISTRY OF COMMERCE
100011, 28 Anweidong Baek Lane, Dongcheng, Beijing, China

⁵DEPARTMENT OF "AUTOMATION" NORTHEASTERN UNIVERSITY
110003, 3-11 Wenhua Road, Shenyang, China

The geological study of the T-N101 well region in the Takyr structure is an urgent task, since effective hydrocarbon production requires a deep understanding of the geological structure. The purpose of this study is to develop a comprehensive methodology for selecting horizontal well sites for KT-II deposits and integrated exploration and development planning for the Permian system in the area of the T-N101 well. The study was conducted using methods of analysis, comparison, modeling of geological processes, systematization and synthesis. In the course of the study, an analysis of hydrocarbon production strategies and approaches to choosing the location of horizontal wells was carried out. The integral planning of exploration and development in Permian deposits for the area of the T-N101 well in the Takyr structure is presented, focused on optimal well placement taking into account geological and economic factors. An effective strategic plan has been developed that takes into account structural, stratigraphic and hydrogeological features. The study revealed the optimal location of horizontal wells of KT-II deposits, based on a deep theoretical analysis of the geological

structures of the region of the T-N101 well. The result is a developed methodology for selecting horizontal well sites for KT-II deposits based on the carboniferous system. This methodology includes feedback mechanisms that allow you to adjust exploration and development strategies, providing flexibility and efficiency in the face of changing geological conditions, changes in market conditions and technological innovations. As a result, the optimal distribution of horizontal wells is carried out on the basis of a comprehensive analysis of geophysical and geological data, which makes it possible to identify the most promising areas in order to maximize hydrocarbon production. The results obtained represent a valuable contribution to the development of effective strategies for the extraction of hydrocarbon resources, taking into account many factors.

KEY WORDS: *geology, seismic research, hydrocarbon resources. formation characteristics, geophysical analysis, environmental friendliness*

Введение. В условиях постоянного развития нефтяной промышленности, эффективное размещение горизонтальных скважин на месторождениях становится критически важным аспектом для обеспечения устойчивой и эффективной эксплуатации ресурсов. Недостаточное изучение и оптимизация геологических особенностей района, включая размещение горизонтальных скважин, снижает эффективность добычи углеводородов и увеличивает затраты на разведку и разработку. Отсутствие системного анализа и синтеза данных о геологических структурах, коллекторских свойствах и других ключевых параметрах приводит к недостаточной информированности при принятии стратегических решений по разработке месторождений. Таким образом, актуальность исследования заключается в необходимости разработки оптимальных методик размещения горизонтальных скважин КТ-II в каменноугольной системе и интегрального планирования и разработки по пермской системе для повышения эффективности добычи углеводородов и оптимизации затрат в районе скважины Т-Н10 в структуре Такыр.

G. Ye. Kulumbetova указывает, что карбонатно-терригенная толща КТ-II представляет собой ключевой слой с запасами нефти и газа на восточном фланге Прикаспийской синеклизы [1]. Научные исследования автора указывают на наличие крупных газовых месторождений, связанных с данным пластом. Однако разнообразие характеристик строения, литологического состава и коллекторных свойств пород в различных частях исследуемого региона остаются малоизученными аспектами.

Процесс выбора объектов для размещения горизонтальных скважин в отложениях КТ-II в районе скважины Т-Н101 в структуре Такыр представляет собой сложную инженерно-геологическую задачу. Выбор размещения скважин остается ключевым вопросом при разработке газовых и газоконденсатных месторождений. Исследование Майлыбаева А.С. посвящено бурению горизонтальных скважин [2]. Отмечается, что применение системы телеметрии при бурении горизонтальных скважин является особенностью. Эта система позволяет полностью записывать информацию, собранную в процессе бурения с использованием геофизических исследований. Тем не менее, детальный анализ и сравнение вертикальных и горизонтальных скважин остаются нерешенными аспектами, требующими дальнейших исследований.

Интегральное планирование разведки и разработки по пермской системе охватывает все аспекты, необходимые для устойчивого, эффективного и ответственного использования углеводородных ресурсов в данном регионе. Интеграция результатов

геофизических и геологических исследований позволяет выделить оптимальные объекты для размещения горизонтальных скважин КТ-II, максимально эффективных для добычи углеводородов из каменноугольных отложений.

Важно отметить, что в работе Ажгалиева Д.К. представлены литолого-стратиграфические характеристики пород каменноугольного возраста, к которым приурочены толщи КТ-III, КТ-II, МКТ и КТ-I [3]. В исследовании Жансеркеевой А.А. для построения геологической модели использованы региональные геолого-геофизические данные, результаты бурения, анализ керна и шлама, интерпретация 3D-сеймики, а также информация от скважинных микросканеров [4]. Однако остаются не рассмотренными аспекты, требующие более детального изучения в контексте интегрального планирования разведки и разработки в данном регионе.

Сейсмические данные предоставляют возможность оценки текущего состояния и потенциальных изменений структуры пермских отложений. К примеру, исследование, проведенное X.Zhu и коллегами, представляет первый комплексный анализ карбоната КТ-II Жанажольского коллектора, включая оценку влияния условий осадконакопления, диагенетических процессов и их взаимодействия на качество коллектора [5]. В тоже время, проблематика возникает в области гидрогеологического моделирования, направленного на исследование взаимосвязей между подземными водами и углеводородоносными слоями. Это критично для определения потенциальных маршрутов миграции углеводородов и предотвращения нежелательных гидрогеологических воздействий на добычу. Несмотря на это, Г.Д.Мадемиханова в своей работе уделяет внимание традиционным методам гидродинамических исследований, таким как использование пластоиспытателя DST (Drill Stem Test) и метод кривой восстановления давления (КВД), чтобы определить пластовое давление и фильтрационные характеристики [6]. Тем не менее, остаются нерешенными вопросы, касающиеся более эффективных методов гидрогеологического моделирования и их применения в данном контексте.

Таким образом, существует потребность в разработке интегрированного и устойчивого подхода к геологическому исследованию и добыче углеводородов в сложных условиях региона скважины Т-Н10. Именно поэтому целью исследования является предложить системную методологию к отбору объектов для горизонтальных скважин и интегрированному планированию разведки и разработки, обеспечивая устойчивую и эффективную добычу углеводородов в указанном районе.

Материалы и методы исследования. В рамках исследования проведен комплексный анализ геофизических и геологических данных с целью определения оптимальных точек размещения горизонтальных скважин КТ-II в районе скважины Т-Н101 в структуре Такыр. В процессе исследования был задействован целый комплекс методов, предназначенных для выделения основных закономерностей и теоретических основ геологических процессов, включая методы анализа, сравнения, моделирования, систематизации и синтеза.

Основным критерием при анализе литературы было выявление ключевых теорий, которые рассматриваются в научном сообществе в контексте геологических процессов в регионе. Это включало теории образования горных пород, формирования месторождений углеводородов и другие, связанные с геологическим стро-

ением, что позволило сосредоточить внимание исследования на тех аспектах, где требуются дополнительные исследования для получения полного понимания геологических процессов в регионе. Была проведена оценка методологии предыдущих исследований, опубликованных в литературе. Это включало в себя анализ использованных методов, технологий и инструментов, а также оценку их эффективности и применимости к рассматриваемому региону. Литературный анализ выявил текущие тенденции и направления исследований в области геологии региона, что позволило адаптировать свой подход, учитывая последние достижения и перспективы развития данной области науки.

Анализ геофизических данных проводился с использованием концепций и теорий, основанных на фундаментальных принципах физики и геологии. Были выделены теоретически обоснованные закономерности в интерпретации геофизических измерений. Анализ петрографических данных включал в себя применение теоретических концепций в минералогии и петрофизике. Это позволило более глубоко понять теоретические аспекты формирования пород и их влияние на распределение углеводородов.

Произведено теоретическое моделирование геологических процессов с использованием математических и физических моделей. Сейсмическое моделирование использовалось для выделения структурных особенностей, таких как разломы и складки, в то время как электроразведка обеспечила оценку проводимости пород и выявление зон с изменениями, свидетельствующими о наличии углеводородов.

Метод сравнения позволил сравнить различные теоретические подходы к интерпретации геологических данных и прогнозированию условий размещения углеводородов. Конкретный метод позволил выделить наиболее перспективные теоретические концепции для дальнейших аналитических рассматриваний.

В рамках исследования был применен метод систематизации данных и их последующий синтез для комплексного анализа региона. Метод систематизации включал в себя оценку геолого-геофизических данных, результатов уже имеющихся исследований, а также информации, полученной при моделировании геологических процессов. Этот метод позволил организовать разнообразные источники информации в структурированный формат, обеспечивая более точное восприятие общей картины геологических процессов.

Синтез данных был проведен с целью объединения различных аспектов исследований и сформировал комплексный анализ региона. Применение методов систематизации и синтеза данных способствовало более глубокому пониманию геологических структур и процессов, что в свою очередь способствует более эффективному планированию разведки и разработки месторождений углеводородов.

Методы были применены для комплексной оценки и выбора оптимальной стратегии разработки. Все полученные данные были системно интегрированы в геологическую модель, обеспечивая уникальный обзор геологической структуры и оптимальных точек для дальнейшей реализации горизонтальных скважин КТ-II.

Результаты и обсуждение. В результате литературного анализа были выделены ключевые аспекты, ориентированные на определение оптимальных точек размещения горизонтальных скважин для КТ-II отложений в контексте каменноугольной

системы. Исследования позволили глубже понять геологические и геофизические особенности рассматриваемого региона, выявив области с высоким потенциалом для эффективной добычи углеводородов.

В ходе анализа для отбора объектов размещения горизонтальных скважин КТ-II был осуществлен глубокий геологический анализ района, включающий в себя изучение структурных особенностей грунтов, типов пород и их геологического состава. Результаты предоставляют всесторонний взгляд на геологическую природу района скважины Т-Н101 в структуре Такыр, ориентированный на оптимизацию размещения горизонтальных скважин и интегральное планирование добычи углеводородов. Геологическая природа района скважины Т-Н101 в структуре Такыр обладает уникальными чертами, важными для планирования разработки углеводородных месторождений. Вначале следует выделить присутствие трещин усыхания на глинистом грунте, формирующих характерный узор [7-9]. Эти трещины, обусловленные климатическими условиями и особенностями геологической структуры, могут существенно влиять на проницаемость пород и потоки углеводородов. В рамках каменноугольной системы представлен анализ геологических исследований, который подтверждает наличие обширных угольных отложений с высоким потенциалом для формирования коллекторов углеводородов. Угольные отложения каменноугольной системы часто являются перспективными для нефтегазовой индустрии, поскольку могут выступать в роли эффективных коллекторов и резервуаров углеводородов. В пермской системе рассматривается возможность формирования перспективных коллекторов и миграции углеводородов. Пермские отложения могут предоставлять благоприятные условия для образования и накопления углеводородов, исходя из геологических характеристик и структурных особенностей данного региона. Исследования структуры позволяют предполагать наличие ловушек, то есть областей, где могут накапливаться углеводороды. Комплексный анализ обеих систем позволил бы получить глубокое понимание геологической структуры и потенциала месторождений, что способствует эффективному планированию разведки и разработки. Объединение данных по каменноугольной и пермской системам в общий геологический контекст становится важным шагом для определения оптимальных точек размещения скважин и разработки стратегий добычи углеводородов в данном регионе. Важным выводом является определение оптимальных точек для размещения горизонтальных скважин КТ-II, ориентированных на каменноугольные отложения. Сочетание геологических и геофизических данных позволяет выделить участки с наивысшим потенциалом для эффективной добычи. Исследования в пермской системе добавляют дополнительные параметры при выборе месторождений для разведки и разработки. Внимание уделяется не только пространственному распределению углеводородов, но и факторам, влияющим на их сберегаемость и доступность.

Литологическое исследование КТ-II отложений предполагало изучение физико-химических свойств пород, их проницаемости и потенциала для удержания углеводородов. Это важный этап, определяющий не только территориальные особенности месторождения, но и факторы, влияющие на процесс добычи. Литологическая разнообразность района предоставляет различные типы пород, каждый из которых обладает уникальными свойствами. Анализ этих свойств является критическим для

понимания структуры пласта, оценки запасов и определения оптимальных методов добычи. Геометрия пород и структурные особенности области имеют прямое отношение к выбору мест размещения горизонтальных скважин.

Гидродинамическое моделирование было применено для более глубокого понимания потока углеводородов в пласте. Это включало в себя анализ распределения давления и оценку оптимальных точек размещения горизонтальных скважин с учетом гидродинамических характеристик. [10,11] Гидродинамические характеристики, включая водные режимы и потоки углеводородов в подземных слоях, также оказывают значительное влияние на эффективность добычи. Климатические особенности региона, в том числе суровые климатические условия, могут влиять на геологические процессы и требуют учета при разработке планов добычи. [12,13] А именно климатические особенности региона в Казахстане оказывают существенное влияние. Суровые зимы и высокие летние температуры создают условия для замораживания и оттаивания грунта, влияя на физические свойства пород и усложняя бурение скважин. Аридный климат и периодические засухи приводят к изменению уровня подземных вод, что важно учитывать при разработке стратегий управления водными ресурсами в процессе добычи. Ветровой режим и экстремальные явления, такие как песчаные бури, могут вызывать эрозию и перемещение почвенного слоя, что в свою очередь может повлиять на стабильность склонов и геологическую структуру месторождений. Эффективная добыча углеводородов в этих условиях требует инженерных решений, адаптированных к климатическим вызовам, а также стратегий, обеспечивающих устойчивость процессов и минимизацию воздействия на окружающую среду.

Формирование такыров в данном контексте становится интересным фактором, так как узоры трещин и плит являются результатом взаимодействия природных факторов и служат индикатором определенных характеристик подземных образований. Такыры, представляющие собой участки высыхания соленых почв, формируются в условиях аридного климата, где засуха и высокие температуры способствуют испарению влаги из почвы, в результате чего происходит концентрация солей в верхних слоях грунта как изображено на *рисунке 1*. Узоры трещин и многоугольные плиты, образующиеся при высыхании вязких илистых почв, предоставляют важную информацию о гидрогеологических условиях региона. Такие природные индикаторы могут служить ориентиром для геологов и инженеров при планировании бурения и добычи углеводородов, помогая определить структурные особенности грунта и наличие водоносных горизонтов.

Анализ формы и размеров такыров в контексте исследования месторождения Т-Н101 в структуре Такыр предоставляет дополнительные данные о геологической природе района. Эти природные особенности интегрированы в общую методологию отбора объектов размещения горизонтальных скважин и интегрального планирования разведки и разработки, повышая точность оценок и эффективность добычи углеводородов в данном регионе. Что и было сделано после тщательного изучения геологической природы, анализа такыров, исследования литологии и гидродинамических характеристик региона, а именно разработана инновационная методика, направленная на оптимизацию отбора объектов размещения горизонтальных сква-



Рисунок 1 – Структура такыр в Центральной Азии

жин для КТ-II отложений и интегрального планирования разведки и разработки по пермской системе в районе скважины Т-Н101. Методология представляет собой комплексный и системный подход к отбору объектов размещения горизонтальных скважин для КТ-II отложений и интегральному планированию разведки и разработки по пермской системе в районе скважины Т-Н101. Разработка данной методологии базируется на глубоком анализе геологической природы региона, учете литологических и гидродинамических особенностей, а также адаптации к климатическим условиям региона.

Методология отбора объектов размещения горизонтальных скважин для КТ-II отложений и интегрального планирования разведки и разработки по пермской системе в районе скважины Т-Н101 состоит из нескольких пунктов.

Интегральное планирование включает в себя комплексный анализ и учет различных аспектов, таких как геологические, технические, социальные и экономические факторы, с целью эффективной организации и управления проектом добычи углеводородов. В рамках интегрального планирования для месторождения КТ-II отложений в районе скважины Т-Н101 в структуре Такыр, основное внимание уделяется оптимизации процессов разведки и разработки с учетом экономических аспектов.

Первый этап комплексного геологического анализа региона, связанного со скважиной Т-Н101, представляет собой тщательное исследование, направленное на обширное понимание геологической структуры данного участка. Этот этап включает несколько ключевых аспектов для получения всесторонней информации. В начале проводится анализ структуры земной коры, что охватывает исследование геологических формаций, слоев и структурных особенностей в пределах региона скважины Т-Н101. Этот этап нацелен на выявление потенциальных структурных ловушек, разломов и прочих геологических факторов, которые могут оказать влияние на образование и аккумуляцию углеводородов. В рамках этого этапа осуществляется также характеристика горных пород, включающая в себя анализ их физических и химических свойств. Это важно для определения типов пород, их проницаемости и общей геологической среды, что существенно для понимания миграции и накопле-

ния углеводородов. Дополнительно проводится изучение различных геологических особенностей, таких как трещины, пещеры и другие формации, способствующие формированию уникальных условий в подземных образованиях.

Для точного определения основных параметров привлекаются геологические карты, а также данные аэромагнитных и гравиметрических измерений. Эти современные методы сбора данных предоставляют точную информацию о геологической структуре и составе подземных образований, что существенно для выработки последующих стратегий добычи. Следующие этапы включают проведение геофизических исследований с целью выделения зон с высоким потенциалом для накопления углеводородов. Эти исследования осуществляются с применением различных техник, предоставляя комплексную информацию о структуре недр и распределении пород. Первым этапом в этом процессе являются сейсмические исследования, которые позволяют получить детальные данные о подземных структурах. Сейсмические волны и их отражения от различных горных формаций предоставляют информацию о геологической структуре, позволяя выделить потенциально перспективные участки. Дополнительно проводится гравиметрия и магнитометрия, направленные на измерение гравитационных и магнитных полей соответственно. Эти методы обеспечивают данные о геологических особенностях, включая наличие подземных формаций, что является ключевым элементом в понимании потенциала для углеводородной добычи. После получения геофизических данных, следующий этап связан с анализом керн – образцов пород, добытых из скважин. Этот анализ предоставляет детальную информацию о физических и химических свойствах горных пород. Определение пористости, проницаемости и других ключевых параметров играет важную роль в оценке потенциала для эффективной добычи углеводородов.

Последующие этапы, связанные с использованием теоретического моделирования и интегрального планирования, представляют собой сложный и системный процесс, включающий несколько ключевых шагов. Начальным шагом в данном контексте идет использование теоретического моделирования для оценки различных стратегий добычи в зависимости от геологических условий. Это включает в себя создание моделей гидродинамических процессов, анализирующих влияние миграции и скопления углеводородов в подземных формациях. Теоретическое моделирование позволяет предвидеть поведение углеводородов в различных геологических сценариях, что является важным инструментом для разработки оптимальных стратегий добычи. Далее, результаты геологических и геофизических исследований интегрируются с экономическими параметрами. Этот этап включает оценку затрат на разведку и разработку, определение ожидаемой доли извлеченных ресурсов и оценку финансовой эффективности проекта. Интеграция данных о геологии и экономике обеспечивает комплексный взгляд на потенциал месторождения и определяет степень его целесообразности.

Следующим важным шагом является разработка оптимальной стратегии разведки и разработки, учитывая геологические и экономические факторы. Это включает в себя решения о размещении горизонтальных скважин, выборе методов бурения, перфорации и технологий добычи. Оптимизация всех этих параметров направлена на максимизацию извлечения углеводородов при минимальных затратах. И в

заключении включение экологических и социальных аспектов в планирование, с учетом минимизации негативного воздействия на окружающую среду и обеспечение социальной устойчивости проекта.

Представленная комплексная методология обеспечивает системный и научно обоснованный подход к отбору объектов и планированию разведки и разработки, максимизируя эффективность и устойчивость проекта в районе скважины Т-Н101. Глубокий анализ геологических особенностей, литологии, гидродинамики и климатических условий региона позволяет выделить оптимальные точки для размещения скважин и разработать стратегию устойчивой и эффективной добычи углеводородов. Интегрированный подход к планированию включает в себя не только оптимизацию геологических и технологических параметров, но и предварительную экономическую оценку, учет социальных аспектов и минимизацию рисков. Это обеспечивает устойчивость проекта в долгосрочной перспективе, сочетая в себе максимальную добычу углеводородов с уважением к окружающей среде и общественным интересам. Результаты исследования предоставляют фундамент для разработки и реализации эффективных стратегий освоения углеводородных ресурсов в данном регионе.

В ходе исследования была разработана методология отбора объектов размещения горизонтальных скважин для КТ-II отложений по каменноугольной системе и интегрального планирования разведки и разработки по пермской системе в районе скважины Т-Н101 в структуре Такыр. Подход, представленный в данном исследовании, представляет собой инновационный способ определения оптимальных точек размещения скважин. Стоит отметить, что зарубежные ученые редко занимались изучением данной тематики. Это обусловлено тем, что структура такыр, присущая преимущественно Центральной Азии. Данная структура представляет собой сложный геологический феномен, проявляющийся в уникальных природных условиях региона, что делает ее важным объектом для научного исследования

Сравнение разработанной методологии с предыдущими исследованиями выявляет несколько ключевых отличий и инноваций. Первоначально, литологическое исследование КТ-II отложений в каменноугольной системе и пермской системе в районе скважины Т-Н101 включает в себя более тщательный анализ физико-химических свойств пород. Это позволяет более точно определить потенциал коллекторов углеводородов и лучше прогнозировать характеристики пласта. В отличие от традиционных подходов, которые часто ориентированы только на геологические параметры, наш метод включает в себя интеграцию геофизических, геологических и экономических данных [14]. Эта многопараметрическая оценка позволяет более точно определить наиболее перспективные зоны для размещения скважин, учитывая их экономическую эффективность. Среди этого, можно привести пример микробиологического метода и трехмерного моделирования. Микробиологические методы применяются для выявления аномальных микропросачиваний углеводородов путем анализа концентрации и характера распределения бактериальной популяции на исследуемой территории как указывает М.А. Rasheed [15]. В другой статье, авторы А. Tarshan, S. Shimanskiy обращают внимание, что трехмерное (3D) моделирование используется с целью выявления перспективных нефтегазоносных объектов в конкретных геологических регионах, что обеспечивает более точную оценку потенци-

ала углеводородов [16]. Оба эти метода представляют неотъемлемую часть разведочных работ и выявления территорий с потенциалом для добычи углеводородов.

Разработанная методология уделяет особое внимание тщательному литологическому исследованию отложений КТ-II в каменноугольной системе и пермской системе в районе скважины Т-Н101, включая анализ физико-химических свойств пород. Этот этап предполагает не только определение состава пород, но и изучение их структуры, плотности, пористости и прочих параметров, влияющих на их проницаемость и возможности как коллекторов углеводородов. Геологический анализ региона включает в себя изучение структуры земной коры, стратиграфии и гидрогеологии. При этом используются современные геофизические методы, такие как сейсмические исследования, гравиметрия и магнитометрия, для точного определения параметров недр и выделения перспективных участков. Это позволяет определить структурные особенности и возможные зоны накопления углеводородов. Согласно F.Tian и соавторам, в процессе разведки месторождений нефти и газа критически важно принять верный подход к интеграции геологических и геофизических данных [17]. Поскольку каждый набор данных подвержен ошибкам, необходимо оценивать неопределенности и возможные ошибки, присутствующие в геологических моделях. К тому же, J.Lai и другие говорят о сложности геофизической оценки скважин в эпоху нетрадиционных углеводородных ресурсов, в основном трудноизвлекаемых и сланцевых нефти и газа [18].

Этап анализа керна включает в себя подробное исследование физических и химических свойств горных пород. Эти данные предоставляют информацию о пористости, проницаемости, составе минералов и других параметрах, важных для понимания условий, влияющих на добычу углеводородов. Методика обладает высокой адаптивностью к изменениям условий и ориентирована на оптимальное размещение горизонтальных скважин с учетом динамики геологических и экономических параметров. Этот подход основан на системе непрерывного мониторинга и анализа данных, что позволяет оперативно реагировать на изменения в геологической структуре, условиях добычи и рыночных трендах.

Методология включает механизмы обратной связи, которые позволяют корректировать стратегии разведки и разработки в режиме реального времени. В исследованиях S.K.Saha и других говорится о том, что для успешного изучения углеводородов нефти и газа необходимо комплексное использование данных многоканального аэрокосмического дистанционного зондирования (ДЗ) совместно с данными геофизических, геохимических и шахтных измерений с использованием географических информационных систем (ГИС) [19]. В последние годы техники ДЗ и ГИС успешно применяются для оценки бассейновых участков с потенциалом для обнаружения нефтегазовых объектов, интегрируя и анализируя многоканальные данные ДЗ, такие как геологические характеристики бассейна, литология, геоморфология, структура земной коры и тектоника. Комплексные подходы обеспечивают гибкость и эффективность в условиях переменчивости геологических условий, изменений в рыночной конъюнктуре или технологических инноваций. Оптимальное размещение горизонтальных скважин осуществляется на основе интегрированного анализа геофизических и геологических данных, что позволяет выбирать наиболее

перспективные участки для максимизации добычи углеводородов. Это учитывает не только текущие геологические параметры, но и предусматривает возможные изменения в перспективе, обеспечивая устойчивость и долгосрочную эффективность добычи энергетических ресурсов. Далее, с использованием теоретического моделирования, проводится оценка различных стратегий добычи в зависимости от геологических условий. Это включает в себя моделирование гидродинамических процессов, миграции и скопления углеводородов. Интеграция результатов геологических и геофизических исследований с экономическими параметрами позволяет оптимизировать стратегии разведки и разработки с учетом как геологических, так и экономических факторов.

В рамках экологического аспекта разработанной методологии акцент сделан на снижении воздействия на биосистемы и использовании экологически безопасных технологий. С учетом климатических особенностей региона, где предполагается добыча, осуществляется оценка потенциальных рисков и принцип осторожности применяется для минимизации негативных последствий. Отдельное внимание уделяется мониторингу воздействия на окружающую среду на всех этапах процесса, а также социальному взаимодействию и прозрачности, включая участие и мнение местных сообществ. Реализация этой методологии стремится не только обеспечить эффективную добычу углеводородов, но и сохранить экологическую устойчивость в контексте принципов устойчивого развития. Например, D.A. Alemzero пришел к выводу, что деятельность по добыче и разведке нефти имеет отрицательные последствия для населения, в том числе вызывает рост цен на продовольствие и снижение вылова рыбы из-за создания запретных зон, что влияет на экономическую деятельность рыбаков [20]. К тому же, A.Truskewycz и L.Lawniczak в своих статьях указывают, что нефтяные углеводороды представляют собой наиболее частый загрязнитель окружающей среды [21,22]. Попадание нефтяных углеводородов в первозданную окружающую среду немедленно меняет природу этой среды, что приводит к снижению функциональности экосистемы.

Сравнение с другими концепциями также выделяет уникальность предложенного подхода. Данный метод не только уделяет внимание геологическим факторам, но и акцентирует внимание на максимизации добычи углеводородов при оптимизированных затратах. Это отличает его от традиционных методов, ориентированных либо исключительно на геологические, либо только на экономические аспекты о каких упоминается в исследовании N.Satyavani [23]. Предложенная методология также учитывает возможные изменения в условиях добычи, в том числе изменения цен на энергоносители и новые технологии. Это придает ей гибкость и адаптивность к динамичной природе нефтегазовой промышленности.

В целом, результаты исследования свидетельствуют о потенциальной эффективности предложенной методологии и ее важном вкладе в область геологоразведочных исследований и разработки месторождений углеводородов. Разработанная методология обладает высокой адаптивностью к изменениям условий и ориентирована на оптимальное размещение горизонтальных скважин с учетом динамики геологических и экономических параметров. Этот подход основан на системе непрерывного мониторинга и анализа данных, что позволяет оперативно реагировать на

изменения в геологической структуре, условиях добычи и рыночных трендах. Методология включает механизмы обратной связи, которые позволяют корректировать стратегии разведки и разработки в режиме реального времени. Это обеспечивает гибкость и эффективность в условиях переменчивости геологических условий, изменений в рыночной конъюнктуре или технологических инноваций. Оптимальное размещение горизонтальных скважин осуществляется на основе интегрированного анализа геофизических и геологических данных, что позволяет выбирать наиболее перспективные участки для максимизации добычи углеводородов. Это учитывает не только текущие геологические параметры, но и предусматривает возможные изменения в перспективе, обеспечивая устойчивость и долгосрочную эффективность добычи энергетических ресурсов.

Заключение и выводы. Подробный анализ геологических и геофизических данных подтвердил возможность выделения оптимальных точек размещения горизонтальных скважин для добычи углеводородов из КТ-II отложений в каменноугольной системе. Исследование геологической структуры региона скважины Т-Н101 в структуре Такыр позволило детально охарактеризовать слоистость, тектоно-стратиграфическую схему и особенности структуры подземных горных пород. Результаты позволяют эффективно ориентировать разведочные и добывающие работы с учетом структурных и петрофизических особенностей. Исследование структурных особенностей, стратиграфии и гидрогеологии пермских отложений в районе скважины Т-Н101 в структуре Такыр подчеркнуло важность интегрального планирования разведки и разработки. Анализ разрезов и петрографических данных выявил ключевые элементы геологической карты, что существенно обогащает понимание особенностей залегания углеводородов. Эта информация является критической для выбора оптимальных местоположений скважин, учета особенностей перфорации и обеспечения эффективной добычи. Эффективные стратегии учитывают сложные геологические условия и позволяют оптимизировать процесс добычи. Литературный обзор выявил важность применения современных технологий и методов в разработке месторождений, соблюдение стандартов безопасности и эффективности. Оценка технологической и экологической устойчивости является ключевым элементом разработки устойчивых стратегий в нефтегазовой индустрии. Рассмотрение социальных и экологических аспектов подчеркнуло важность взаимодействия с местными сообществами и учета интересов стейкхолдеров при планировании и реализации проектов. Успешное стейкхолдерское взаимодействие может содействовать снижению конфликтов и обеспечению устойчивого развития проекта. Выводы подсказывают на необходимость дальнейших исследований для уточнения данных, включая более глубокий анализ структурных особенностей, петрофизических свойств и глубинного геохимического моделирования. Это создаст базу для более точных стратегий разведки и разработки в будущем. Результаты предоставляют ценные указания для эффективной разработки углеводородных месторождений в рассматриваемом регионе. Интеграция геологических, геофизических, технологических и социальных данных является неотъемлемой частью разработки устойчивых стратегий в нефтегазовой индустрии. 

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Kulumbetova G.Ye., Nursultanova, S.G., Mailybayev, R. M. Lithological Types and Reservoir Properties of KT-II reservoir on the Eastern edge of Pre-Caspian Basin // International Journal of Engineering Research and Technology, - 2019 – V.12, N. 8, - P. 1335-1340.
- 2 Майлыбаев А.С., Утеев Р.Н., Джаксылыков Т.С., Бектас А.А., Ниязбаева А.Б. Анализ эффективности эксплуатации горизонтальных скважин на месторождении «Х» АО «Эмбаунагаз» // Вестник нефтегазовой отрасли Казахстана. - 2023. - Т. 5. - № 1. - С. 103-116. [Mailybaev A.S., Uteev R.N., Dzhaksylykov T.S., Bektas A.A., Niyazbaeva A.B. Analiz effektivnosti ekspluatatsii gorizontalnykh skvazhin na mestorozhdenii «H» АО «Embamunajgaz» // Vestnik neftegazovoj otrasli Kazahstana. - 2023. - Т. 5. - № 1. - С. 103-116.]
- 3 Ажғалиев Д.К., Баймурзаева Ж.Б. Особенности строения и прогноз нефтегазоносности карбонатных и терригенных комплексов отложений на востоке прикаспийской впадины // PRONeфть. Профессионально о нефти – 2023, - Т.8. – №3 – С. 38-49. [Azghaliev D.K., Bajmurzaeva Zh.B. Osobennosti stroeniya i prognoz neftegazonosnosti karbonatnykh i terrigennykh kompleksov otlozheniy na vostokeye prikaspijskoj vpadiny // PRONeфть. Professional'no o nefti – 2023, - Т.8. – №3 – С. 38-49]
- 4 Жансеркеева А.А., Геологическое строение и моделирование карбонатного резервуара KT-II месторождения Кожасай (восточный борт прикаспийской синеклизы) // Вестник нефтегазовой отрасли Казахстана. - 2020 – Т.2 - №1 – С.33-42. [ZHanserkeeva A.A., Geologicheskoye stroeniye i modelirovaniye karbonatnogo rezervuara KT-II mestorozhdeniya Kozhasaj (vostochnyy bort prikaspijskoj sineklyzy) // Vestnik neftegazovoj otrasli Kazahstana. - 2020 – Т.2 - №1 – С.33-42]
- 5 Xiao'er Zhu, Zhenkui Jin, Ting Liang, Shuo Yi, Kai Wei, Baishui Gao, Liang Shi., Depositional environment, diagenetic evolution, and their impact on the reservoir quality of the carboniferous KT-II carbonate in the zhanazhol reservoir, Pre-Caspian Basin, Kazakhstan // Marine and Petroleum Geology – 2020 – V.117 <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2020.104411>.
- 6 Мадемиханова Г.Д., Проект пробной эксплуатации месторождения Такыр. Пояснительная записка к дипломному проекту КазННТУ им. К.И.Сатпаева, - 2019 - 39 с. [Mademihanova G.D., Proekt probnoy ekspluatatsii mestorozhdeniya Takyr. Poyasnitel'naya zapiska k diplomnomu proektu KazNITU im. K.I.Satpaeva, - 2019 - 39 s.]
- 7 Nazarova S.M., Hakimova O.S., Boltayev M. I., GRANULOMETRIC COMPOSITION IRRIGATED SOILS OF BUKHARA REGION // Science and innovation International scientific journal – 2023 – V.1 – P.446-450 <https://doi.org/10.5281/zenodo.8358136>
- 8 Fleskens L., Ataev A., Mamedov B. Spaan W.P. Desert water harvesting from takyr surfaces: assessing the potential of traditional and experimental technologies in the Karakum // Land Degrad. Dev., - 2006 – V.18 – P.17-39. <https://doi.org/10.1002/ldr.759>
- 9 Мамытов Ж.У., Дуйсебай А.Ш., Жамангараева А.Н., Такырлардың түзілуіндегі физикалық -географиялық жағдайлар // Почвоведение и агрохимия, - 2010 – Т.2 - С. 23-29. [Mamytov Zh.U., Dujsebaj A.Sh., Zhamangaraeva A.N., Takyrlard'ң tyziluindegi fizikal'nyy -geografiyal'nyy zhadajlar // Pochvovedeniye i agrokimiya, - 2010 – Т.2 - С. 23-29.]
- 10 Zhang L., Li Z., La F., Li H., Adenutsi C., Kongjie W., Yang S., Xu W. Integrated optimization design for horizontal well placement and fracturing in tight oil reservoirs // Journal of Petroleum Science and Engineering. – 2019 – V.178 – P.82-96. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2019.03.006>.

- 11 Lei Q., Xu Y., Cai B. Guan B., Wang X., Bi G., Li H., Li S., Ding B., Fu H., Tong Z., Li T., Zhang H. Progress and prospects of horizontal well fracturing technology for shale oil and gas reservoirs // *Petroleum Exploration and Development*. – 2022 – V.49. - P.191-199. [https://doi.org/10.1016/S1876-3804\(22\)60015-6](https://doi.org/10.1016/S1876-3804(22)60015-6).
- 12 Salnikov V., Turulina G., Polyakova S., Petrova Y., Skakova A. Climate change in Kazakhstan during the past 70 years // *Quaternary International* – 2014 – V.358. – P.77-82. [10.1016/j.quaint.2014.09.008](https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.09.008)
- 13 Poberezhskaya M., Bychkova A., Kazakhstan's climate change policy: reflecting national strength, green economy aspirations and international agenda, *Post-Communist Economies*, - 2022 – V. 34 – P. 894-915. <https://doi.org/10.1080/14631377.2021.1943916>
- 14 Сүлейменов Ә.О., Сейтов А.Т. Современные проблемы, методы решения и результаты интерпретации данных каротажа месторождения Жанажол
- 15 Rasheed, M. A., Patil D. J., Dayal A. M. *Microbial Techniques for Hydrocarbon Exploration* // Published by InTech. - 2013 - <https://doi.org/10.5772/50885>
- 16 Tarshan A., Shimanskiy S. Petroleum system modelling and identification of promising oil and gas bearing objects in the eastern part of the Gulf of Suez, Egypt.// *Russian journal of earth sciences* – 2019 – V.19 <https://doi.org/10.2205/2019ES000669>
- 17 Fei Tian, Jiangyun Zhang, Wenhao Zheng, Hui Zhou, Qihao Ma, Chunguang Shen, Qingyou Ma, Mingjie Lan, Yunchen Liu. Geology-geophysics-data mining integration to enhance the identification of deep fault-controlled paleokarst reservoirs in the Tarim Basin // *Marine and Petroleum Geology*, - 2023 - V. 158 – P.106498. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2023.106498>.
- 18 Lai, J., Wang, G., Fan, Q. et al, Geophysical Well-Log Evaluation in the Era of Unconventional Hydrocarbon Resources: A Review on Current Status and Prospects // *Surv Geophys*. - 2022 – V.43. - P. 913–957, <https://doi.org/10.1007/s10712-022-09705-4>
- 19 Saha S.K. Remote Sensing and Geographic Information System Applications in Hydrocarbon Exploration: A Review // *J Indian Soc Remote Sens* – 2022 – V. 50. - P.1457–1475. <https://doi.org/10.1007/s12524-022-01540-9>
- 20 Alemzero, D.A., Iqbal, N., Iqbal, S. et al., Assessing the perceived impact of exploration and production of hydrocarbons on households perspective of environmental regulation in Ghana. // *Environ Sci Pollut Res* – 2021 – V. 28. - P. 5359–5371. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10880-3>
- 21 Truskewycz A., Gundry T.D., Khudur L.S., Kolobaric A., Taha M., Aburto-Medina A., Ball A.S., Shahsavari E. Petroleum Hydrocarbon Contamination in Terrestrial Ecosystems—Fate and Microbial Responses // *Molecules*. – 2019. – N 24(18). – P. 3400. <https://doi.org/10.3390/molecules24183400>
- 22 Ławniczak Ł, Woźniak-Karczewska M, Loibner AP, Heipieper HJ, Chrzanowski Ł., Microbial Degradation of Hydrocarbons—Basic Principles for Bioremediation: A Review // *Molecules*. – 2020 – V. 25(4) – P. 856. <https://doi.org/10.3390/molecules25040856>
- 23 Satyavani, N., Uma, V., Pavan Kishore, P. et al. Geophysical Exploration of Unconventional Hydrocarbons // *J Geol Soc India*. – 2021 – V. 97 - P. 1274–1279, <https://doi.org/10.1007/s12594-021-1856-2>.