

## К вопросу о перспективах развития технологий в нефтегазодобывающей отрасли

Александр Анатольевич ЛИПАЕВ\*  
Сергей Александрович РЫЛЬКОВ

Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия

### Аннотация

**Цель и актуальность работы.** Нефтегазодобывающая промышленность является важной составной частью топливно-энергетического комплекса страны. Кроме того, углеводороды служат ценным сырьем для химической промышленности. Все это подчеркивает ту важную роль, которую углеводороды играют в жизни современного человеческого общества. Целью работы является анализ перспектив развития отмеченной нефтедобывающей отрасли в условиях усложнения геолого-физических условий добычи, изменения структуры запасов в сторону трудноизвлекаемых, ужесточения экологических требований.

**Методы исследования** включали анализ качественных скачков степени извлечения углеводородов из недр (коэффициента нефтегазоотдачи или нефтегазоизвлечения) и соответствующих им методов увеличения нефтеизвлечения.

**Результаты работы и область их применения.** Показаны четыре исторических этапа развития технологий нефтедобычи, начиная от раннего примитивного собирательства углеводородов в местах их естественного выхода до современной автоматизированной нефтегазопромысловой промышленности. Сформулированы особенности ее пятого этапа и перспективы его развития. Обоснована необходимость создания инновационных технологий нефтегазодобычи в направлении извлечения остаточных запасов (после выполнения проектных решений), экологизации нефтегазодобывающей промышленности, перехода к информационным (цифровым) технологиям и искусственному интеллекту, реализации принципов рационального природопользования. Особо подчеркнута негативное влияние техносферы (в том числе и нефтегазодобывающей промышленности) на среду обитания человека и обусловлены требования к созданию новых, так называемых природоподобных технологий нефтегазоизвлечения. Результаты исследования могут быть полезны специалистам нефтегазодобывающей отрасли, студентам высших учебных заведений.

**Выводы.** Нефтегазовая промышленность прошла длительный путь развития от непромышленных примитивных способов извлечения углеводородов до современного автоматизированного производства с применением систем искусственного интеллекта. При этом необходимость роста степени извлечения углеводородного сырья приводила к смене этапов развития нефтегазодобычи. Впервые сделаны выводы о формировании критерия биосферосовместимости технологий извлечения нефти и использовании его при проектировании систем разработки, а также необходимости его дальнейшего обоснования.

**Ключевые слова:** нефтегазодобывающая промышленность, технологии нефтегазодобычи, остаточные запасы, методы увеличения нефтеизвлечения, парогравитационный дренаж, экологизация техносферы, природоподобные технологии, рациональное природопользование, автоматизация производства.

### Введение

Россия в настоящее время является одним из крупнейших в мире производителей, потребителей и экспортеров углеводородов.

Нефтегазодобывающая промышленность входит в состав топливно-энергетического комплекса страны, являясь его важнейшей составной частью, однако ее значение этим не ограничивается.

Так, нефть – это не только источник для выработки моторных топлив (керосина, бензина, дизельного и реактивного топлива), масел и смазок, но и сырье для нефтехимии в производстве спиртов, синтетического каучука, полиэтилена, различных пластмасс, искусственных тканей,

моющих и взрывчатых веществ, медицинских препаратов, строительных материалов (битумы, гудрон, асфальт), а также сырье для получения синтетических белковых препаратов и др.

Основными потребителями газа в стране являются электро- и теплоэнергетика. Кроме того, газ, так же, как и нефть, является практически незаменимым видом сырья для химической промышленности, из которого изготавливаются формальдегид, хлороформ, четыреххлористый углерод, различные виды полимеров и удобрений.

Отсюда хорошо видна та роль, которую играют углеводороды в современной цивилизации. Вместе с тем не-

\*lipaevagni@yandex.ru

обходимо отметить, что в последние десятилетия существенно изменились структура и география (необжитые районы Севера, Арктика, морской шельф) сырьевой базы нефтяной и газовой промышленности, увеличилась доля трудноизвлекаемых запасов «черного золота» (тяжелых высоковязких нефтей, нефтей в низкопроницаемых коллекторах, обводненных месторождений), в полный рост встает проблема освоения нетрадиционных источников природного газа. Это может в ближайшей перспективе резко снизить добычу углеводородов и требует поиска новых средств и технологий для повышения нефтегазоизвлечения из пластов [1].

К отмеченному необходимо добавить ужесточение экологических требований к технологиям нефтегазодобычи [2].

В связи с изложенным представляют интерес перспективы развития нефтяной и газовой промышленности.

**Этапы развития нефтегазодобывающей промышленности.** Горное дело, к которому относится извлечение из недр углеводородов, зародилось еще до нашей эры. Историю добычи нефти можно разбить на этапы, взяв за основу качественные скачки степени ее извлечения из недр (рост коэффициента нефтеотдачи или нефтеизвлечения) и соответствующие им технологии. При этом на первом (предпромышленном) этапе нефть собирали с поверхности водоемов в тех местах, где она сама сочилась из глубины, извлекали из ям и колодцев, обрабатывали добытые нефтенасыщенные породы. Нефть применялась для освещения и отопления жилищ, смазки трущихся поверхностей (например, осей колес), использовалась в качестве лекарственного средства и в военном деле.

Выходы природного газа из естественных источников также использовались человеком с незапамятных времен. Еще Аристотель (384–322 гг. до нашей эры) говорил об использовании природного огня персами для бытовых целей. Возможности добычи и применения природного газа были продемонстрированы миру древней китайской цивилизацией [3].

С момента бурения первой в мире нефтяной скважины в 1848 г. на Апшеронском полуострове (Биби-Эйбат) начался второй этап добычи углеводородов (нефти), который, по мнению Р. Х. Муслимова [4], продолжался в нашей стране до 1945 г. Это был революционный шаг в нефтедобыче, означавший переход к промышленному извлечению углеводородов из продуктивных пластов. Эксплуатация нефтяных месторождений при этом осуществлялась с помощью естественных природных режимов, которые в литературе получили название первичных базовых методов.

В то же время форсированный (фонтанный) отбор нефти из скважин приводил к быстрому истощению нефтеносных слоев, прилегающих к их стволу, а большая часть нефти оставалась в недрах. Добыча нефти из скважин, давление в которых (пластовое) было недостаточным для фонтанирования, производилась с помощью цилиндрических ведер, так называемых «бурдюков». Этот способ добычи (вычерпывание нефти), связанный с тяжелым физическим трудом, назывался «тартанием».

Следующим важнейшим (третьим) этапом развития систем разработки (вторая половина XX в.) стало приме-

нение заводнения с поддержанием пластового давления. Эти системы на начальных этапах внедрения, бывшие методами увеличения нефтеизвлечения (МУН), в дальнейшем получили название вторичных базовых методов. Они, в свою очередь, подразделяются на традиционные (методы стационарного заводнения), применяемые на начальных этапах внедрения систем, и современные (гидродинамические методы увеличения нефтеизвлечения).

Начало этому этапу в нашей стране было положено в 1946 г. применением законтурного заводнения на Туймазинском нефтяном месторождении. Позднее, с 1954 г., на уникальном Ромашкинском нефтяном месторождении стала использоваться более прогрессивная система так называемого «внутриконтурного заводнения». Это явилось серьезным триумфом в создании научных основ разработки месторождений углеводородов и вместе с тем показало недостатки метода, которые необходимо было знать для дальнейшего совершенствования систем разработки [4].

Гидродинамические методы увеличения нефтеизвлечения, позволяющие повысить нефтеизвлечение, в свою очередь, включают технологии нестационарного (импульсного) заводнения, изменения направления фильтрационных потоков, форсированного отбора жидкости и др.

Для последней четверти XX и начала XXI в. стала характерной модернизация систем разработки путем облагораживания закачиваемой воды химреагентами и другими добавками, разработка новых объемных технологий воздействия на пласты (закачка газов, теплоносителей, микроорганизмов и др.) для повышения нефтеизвлечения (четвертый этап). В результате действия этих методов, которые получили название третичных, происходят существенные изменения (физические, химические, биохимические и др.) пластовых процессов, приводящие к увеличению нефтеизвлечения.

Этот этап продолжается и в настоящее время. Так, в работе Ю. Н. Линника, В. Ю. Линника в качестве перспективных для действующих месторождений традиционной нефти отмечаются следующие технологии [3]:

- многостадийного гидравлического разрыва пласта (МГРП);
- механического вытеснения нефти со смешением (закачка воды, углекислого газа, углеводородных газов и др.);
- тепловое воздействие на свойства нефти (закачка горячей воды, водяного пара, термополимерных растворов, горячих дымовых газов, организация внутрипластового окисления и др.);
- физико-химического воздействия на свойства нефти (закачка водных растворов с поверхностно-активными веществами, полимеров и др.).

Существенное развитие получают технологии добычи нефти, основанные на бурении горизонтальных и разветвленно-горизонтальных скважин. Первая в мире такая скважина была пробурена А. М. Григоряном еще в 1953 г. В настоящее время горизонтальное бурение способно решать многие важнейшие задачи, в том числе проблемы поиска и вовлечения в разработку запасов тупиковых зон и слабовыработанных пластов, извлечения части остаточных запасов (после применения систем разработки с за-

воднением) на поздней стадии разработки нефтяных месторождений, повышения нефтеизвлечения на малоэффективных залежах с трудноизвлекаемыми запасами и др.

Перспективны (по Р. Х. Муслимову, 2014) также геолого-физические методы увеличения нефтеизвлечения с помощью комплекса вторичных методов (МУН).

Для освоения трудноизвлекаемых ресурсов базовыми направлениями могут быть технологии типа SAGD и термогазовый метод [5–7].

Технология SAGD предусматривает бурение в нефтенасыщенной части продуктивного пласта, вблизи его подошвы двух параллельных горизонтальных скважин, одна под другой (при разработке протяженных пластов строятся ряды пар нагнетательных – добывающих скважин). Верхняя из них используется для закачки пара, который поднимается вверх и создает большую паровую камеру, а нижняя служит для отбора добытой жидкости. Таким образом, на границе паровой камеры пар конденсируется при передаче тепла малоподвижной нефти, а прогретая нефть вытесняется под действием рабочего агента и ее собственного веса по направлению сверху вниз, т. е. на производительность горизонтальной скважины действуют два фактора – гравитационный дренаж и вытеснение под давлением.

Термогазовый метод, являющийся разновидностью технологии внутрипластового горения (применяемый при разработке баженовской свиты), также можно отнести к перспективным способам извлечения нефти. Эта технология основана на инициализации и поддержании реакции низкотемпературного окисления нефти в пласте при помощи закачки окислителя (воздуха). Процесс обеспечивает разогрев пласта, крекинг тяжелых фракций, повышение внутрипластового давления и подвижности нефти [7]. Этот метод, являющийся разновидностью технологии внутрипластового горения, также можно отнести к перспективным способам извлечения нефти.

Однако по мере старения крупнейших месторождений страны, усложнения геолого-физических условий разработки месторождений и ужесточения экологических требований к нефтегазовой промышленности в настоящее время становится необходимым переход к новому пятому этапу, включающему создание четвертичных МУН, т. е. разработку новейших технологий извлечения остаточных запасов эксплуатируемых объектов. При этом появляются и новые задачи, связанные с изучением остаточных запасов нефти, которые являются очень значительными. На рис. 1 в качестве примера приведено распределение МУН в общей добыче из геологических запасов для условий месторождений девона Татарстана.

**Новый этап развития нефтяной и газовой промышленности и его задачи.** Таким образом, для развития нефтегазовой промышленности требуется создание инновационных технологий. Так, технологии нефтедобычи должны быть направлены на решение целого комплекса задач:

- увеличение нефтеизвлечения, в том числе за счет остаточных запасов нефти (после выполнения проектных решений);
- экологизацию техносферы (в том числе нефтегазодобывающей промышленности) и переход к новым, так



**Рисунок 1. Распределение МУН в коэффициенте извлечения нефти (на примере терригенных отложений девона Ромашкинского месторождения)**

**Figure 1. Distribution of EOR in the oil recovery factor (using the example of Devonian terrigenous deposits of the Romashkino field)**

называемым природоподобным технологиям извлечения углеводородов, совместимым с биосферой [8];

- переход в нефтегазодобыче к VI технологическому этапу;
- приоритетное применение возобновляемых источников энергии;
- реализацию принципов рационального природопользования.

Повышение нефтеизвлечения требует развития фундаментальных и прикладных научных исследований, в том числе глубокого изучения остаточных видоизмененных запасов нефти, которые на завершающей стадии разработки могут менять свои гидродинамические свойства [9].

Перспективным направлением в нефтедобыче, очевидно, будет применение так называемых «умных» полимеров, на которые предполагается возложить задачи поиска системы, находящей притоки воды и осуществляющей их блокировку, но не препятствующей течению нефти.

Так, для разработки обводненных нефтяных месторождений в Институте проблем нефти и газа РАН предложена полимерно-гелевая система «Темпоскрин» (опробованная на нефтяных месторождениях РФ, Казахстана и Азербайджана) [10]. Эта технология предназначена для изоляции высокопроницаемых обводненных пластов, изменения направлений фильтрации, увеличения охвата продуктивных пластов воздействием и повышения конечного нефтеизвлечения.

Повышение нефтеизвлечения из пластов при применении технологии «темпоскрин» достигается за счет особых (аномальных) реологических свойств приготавливаемой на ее основе полимерно-гелиевой системы. Частицы «темпоскрин» при закачке в пласт устремляются в зоны минимального гидродинамического сопротивления, заполняя наиболее крупные обводненные поры, каверны и трещины, что позволяет выравнять профиль проницаемости в нагнетательных скважинах и изолировать обводненные пропластки.

Разрабатывается также «умный» проппант, изменяющий по-разному свой объем при взаимодействии с водой

и нефтью, который в результате использования его при МГРП позволит увеличить приток нефти и уменьшить обводненность скважинной продукции [3].

Перспективным направлением создания эффективных технологий нефтедобычи является исследование аномально высокой растворяющей способности растворителей в сверхкритических условиях, что способствует максимальному извлечению нефти из пластов [11].

Примером является технология Vapex [6], которая так же, как и метод SAGD, основана на применении горизонтальных скважин и закачки пара, но в отличие от парогравитационного дренирования (SAGD) – пара не водяного, а углеводородного, и в состоянии, близком к точке росы при пластовом давлении (в этом состоянии пар обладает высокой растворимостью). Таким образом, технология Vapex обеспечивает эффективное извлечение углеводородного сырья из пористой среды.

Дальнейшее развитие газовой отрасли будет связано с освоением нетрадиционных источников природного газа. Актуальными станут технологии разработки сланцевого газа, газогидратных залежей, технологии по извлечению метана из угольных пластов. Особое место для расширения ресурсной базы занимает реализация проектов по добыче природного газа на морском шельфе, и в том числе в Арктике.

Развитие новых технологий добычи газа идет по пути создания схем и методов разработки месторождений с помощью наклонно направленных, горизонтальных и многозабойных «интеллектуальных» скважин, создания методов, технических средств и технологий эффективного освоения трудноизвлекаемых и нетрадиционных ресурсов газа в низконапорных коллекторах, газогидратных залежах и метана в угольных пластах [3].

Необходимо особо подчеркнуть, что XXI столетие является веком экологизации техносферы в связи с ее существенным негативным влиянием на среду обитания человека. Это вызывает необходимость перехода к природоподобным и конвергентным технологиям нефтегазодобычи [8].

Первые (природовоспроизводящие технологии), по сути, дублируют существующие в природе процессы. Из существующих технологий к ним можно отнести микробиологические методы увеличения нефтеизвлечения, которые предусматривают воздействие на пластовую нефть микробных клеток на молекулярном уровне или продуктов их жизнедеятельности непосредственно в порах пласта, которые меняют микрогидромеханику последнего. Микробиологические технологии увеличения нефтеизвлечения привлекают своей малой инвестиционной потребностью, высокой эффективностью и экологической безопасностью [12].

Перспективными, в частности, становятся технологии создания «искусственной нефти» из макроводорослей на основе моделирования природных процессов ее образования [13]. Это обеспечивает воспроизводство ценных природных ресурсов.

Вторые (конвергентные) технологии представляют форму экологически сбалансированного или коэволюционного взаимодействия антагонистических компонентов при развитии единой природно-технической системы.

В работе [14] сформированы биотехнологические принципы построения конвергентных горных технологий. В некотором смысле к подобным технологиям можно отнести описанный ранее метод Vapex.

Необходимо отметить, что создание природовоспроизводящих и конвергентных технологий является важнейшим направлением развития нефтепромышленной науки.

Принципиальный тренд развития нефтегазовой отрасли связан с переходом к VI технологическому этапу. Это включает использование информационных (цифровых) технологий в добыче нефти и газа: применение роботов, искусственного интеллекта, технологий моделирования, вычисления и визуализации для создания частичных или полных виртуальных обстановок реальных нефтегазовых объектов (месторождений, скважин, систем) с целью анализа и управления производственными процессами. В перспективе отмеченное означает создание безлюдных технологий добычи углеводородов.

Возобновляемые источники энергии (солнечные и ветровые электростанции, гидроэнергетика) должны стать приоритетными в нефтегазодобыче, что обеспечит не только экологичность производства и его конечную рентабельность, но и сохранение окружающей среды (снизит техногенную нагрузку на недра в целях исключения дополнительной добычи ископаемого топлива).

Рациональное природопользование предполагает комплексное использование первичных природных и вторичных техногенных ресурсов (отходы производства и потребления).

Что касается первых, то добытые тяжелые нефти и природные битумы содержат большое количество сопутствующих полезных компонентов, например ванадия и никеля, которые могут быть из них извлечены. В связи с этим метод внутрислоевого горения, который, с одной стороны, позволяет существенно увеличить коэффициент нефтеизвлечения, а с другой – уничтожает эти компоненты (они сгорают в пласте), с точки зрения рациональности является неприемлемым.

Вторичные ресурсы должны многократно использоваться как для народного хозяйства в целом, так и для обеспечения технологий нефтегазодобычи (например, попутный нефтяной газ на нефтяных месторождениях). Интересный пример использования отходов мусоросжигающих заводов (МСЗ) для повышения нефтеизвлечения приведен в работе [15]. При размещении на месторождении МСЗ отходы последнего (тепло и отходящие газы) могут применяться для закачки в пласт, способствуя дополнительной добыче нефти.

Таким образом, новый этап развития нефтегазодобычи предполагает при выборе и проектировании систем разработки учитывать все отмеченные факторы.

#### **Заключение**

Технологии нефтегазодобычи за длительную историю человечества прошли большой путь от непромышленных примитивных способов, применяемых еще более двух тысяч лет назад, до современного автоматизированного производства с применением искусственного интеллекта. При этом непрерывно возрастали глубина и количество скважин, объем добычи из недр ценного углеводородного

**Мировая добыча нефти**  
**World oil production**

Год .....	1860	1880	1900	1920	1940	1960	1980	2000	2020
Добыча нефти, млн т/год ....	0,070	4,113	20,5	94,5	298,4	1048,6	3092,0	3601,5	4192,0

сырья (см. выше). Тяжелый ручной труд все более заменялся машинным. Необходимость роста степени извлечения углеводородов приводила к смене этапов развития нефтегазодобычи.

В основу выбора и проектирования разработки месторождений в советское время было положено стремление обеспечить максимальное использование запасов недр, т. е. получить наибольший коэффициент извлечения нефти (КИН). То же самое относится и к природному газу. При этом другие факторы, в том числе и экономические, рассматривались как второстепенные (технологическое обоснование КИН). До перехода к рыночной экономике технологический КИН принимался в качестве единственного конечного. Его достижение требовало максимального использования недр и, соответственно, применения более дорогих систем разработки, расходования больших

материальных средств, особенно для месторождений, имеющих низкую продуктивность. Это было оправданно в рамках плановой экономики.

В условиях же рыночной экономики и доминирования экономического фактора, когда ориентируются на экономическое обоснование КИН, во главу угла ставят вопрос получения максимальной прибыли (экономический КИН). При этом зачастую удешевляют систему разработки в ущерб полноте использования богатств недр и экологии окружающей среды.

На современном этапе развития нефтегазодобычи, на взгляд авторов, появляется еще один важнейший фактор, связанный с биосферосовместимостью технологий или их природоподобием. Вопрос биосферосовместимости КИН и его роли при выборе систем разработки месторождений требует дальнейшего обоснования и проработки.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриевский А. Н. Фундаментальный базис инновационного развития нефтяной и газовой промышленности в России // Георесурсы. Энергетика. Геополитика. 2010. Вып. 1(1). С. 1–19.
2. Закон РФ от 21.02.1992 N 2395-1 (ред. от 25.12.2023) «О недрах» (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2024)
3. Линник Ю. Н., Линник В. Ю. Добыча углеводородного сырья // Энциклопедия технологий. М.; СПб, 2019. С. 52–90. URL: [https://anoire.center/wp-content/uploads/2022/encyclone/p\\_one/chpt\\_2.pdf](https://anoire.center/wp-content/uploads/2022/encyclone/p_one/chpt_2.pdf)
4. Муслимов Р. Х. Развитие систем разработки нефтяных месторождений на страницах журнала «Нефтяное хозяйство» // Нефтяное хозяйство. 2005. № 9. С. 57–63.
5. Bulter R. M. Steam Assisted Gravity Drainage – Concept, Development, Performance and Future // Journal of Canadian Petroleum Technology. Vol. 33. № 2, February. 1994.
6. Батлер Р. М. Горизонтальные скважины для добычи нефти, газа и битумов. М.; Ижевск: Ин-т компьютерных исследований, 2010. 536 с.
7. Боксерман А. А. Термогазовый метод увеличения нефтеотдачи // Георесурсы. 2007. № 3(22). С. 18–20.
8. Липаев А. А. О природоподобных технологиях в нефтедобыче // Бурение и нефть. 2024. № 07. С. 46–51. <https://doi.org/10.62994/2072-4799.2024.85.24.009>
9. Дьячук И. А., Зейман Ю. В. Разработка заводненных нефтяных пластов на завершающих стадиях. Казань: «Плутон», 2015. 274 с. <https://www.elibrary.ru/vuhoen>
10. Каушанский Д. А., Демьяновский В. Б. Инновационная технология ограничения водопритока в добывающих скважинах «Темпоскрин-плюс» // Актуальные проблемы нефти и газа. 2018. Вып. 1(20). С. 1–9. <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2018-20.art22>
11. Филенко Д. Г., Дадашев М. Н., Винокуров В. А., Григорьев Е. Б. Сверхкритическая флюидная технология в нефтепереработке и нефтехимии // Вести газовой науки. 2011. № 2(7). С. 82–92.
12. Ибатуллин Р. Р., Ибрагимов Н. Г., Тахаутдинов Ш. Ф. и др. Увеличение нефтеотдачи на поздней стадии разработки месторождений. Теория. Методы. Практика. М.: Недра-Бизнесцентр, 2004. 292 с.
13. Способ получения биотоплива из макроводорослей: пат. RU2787537C1 Рос. Федерация / Куликова Ю. В., Сухих С. А., Бабич О. О., Маргина Ю. М. № 2022124903; заявл. 21.09.22; опублик. 10.01.23. Бюл. № 1.
14. Галченко Ю. П., Еременко В. А. Природно-технические системы подземной разработки рудных месторождений на основе конвергентных горных технологий. 2-е изд. / отв. ред. В. Н. Захаров. М.: Горная книга, 2023. 288 с.
15. Al Baseese M. N. M., Lipaev A. Using waste insineration as a means to increase oil recovery // Proceedings of 24th International Multidisciplinary Scientific GeoConference (SGEM 2024). Sofia, Bulgaria: STEF92 Technology, 2024. Vol. 24, issue 5.1. P. 363–370. <https://doi.org/10.5593/sgem2024/5.1/s20.46>

*Статья поступила в редакцию 28 ноября 2024 года*

# On the prospect for the development of technologies in the oil and gas production industries

Aleksandr Anatol'evich LIPAEV\*  
Sergey Aleksandrovich RYL'KOV

Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia

## Abstract

**The purpose and relevance of the work.** The oil and gas industry are an important component of the country's fuel and energy complex. In addition, hydrocarbons serve as valuable raw materials for the chemical industry. All this emphasizes the important role that hydrocarbons play in the life of modern human society. The purpose of the work is to analyze the development prospects of the noted oil producing industry in the context of increasingly complex geological and physical conditions of production, changes in the structure of reserves towards hard-to-recover ones, and tightening environmental requirements.

**The research methods** included an analysis of qualitative leaps in the degree of hydrocarbon extraction from the subsoil (oil recovery coefficient or oil and gas recovery) and the corresponding methods for increasing oil recovery.

**Results of the work and the scope of their application.** Four historical stages of oil production technology development are shown, starting from the early primitive collection of hydrocarbons in places of their natural exit to the modern automated oil and gas industry. The features of its fifth stage and the prospects for its development are formulated. The need to create innovative oil and gas production technologies in the direction of extracting residual reserves (after the implementation of design solutions), greening the oil and gas industry, the transition to information (digital) technologies and artificial intelligence, the implementation of the principles of rational nature management is substantiated. The negative impact of the technosphere (including the oil and gas industry) on the human environment is particularly emphasized and the requirements for the creation of new, so-called nature-like technologies for oil and gas extraction are determined. The results of the study can be useful for specialists in the oil and gas production industry, students of higher educational institutions.

**Conclusions.** The oil and gas industry has come a long way from non-industrial primitive methods of hydrocarbon extraction to modern automated production using artificial intelligence systems. At the same time, the need to increase the degree of hydrocarbon raw material extraction led to a change in the stages of oil and gas production development. For the first time, conclusions were made on the formation of a criterion for the biosphere compatibility of oil extraction technologies and its use in the design of development systems, as well as the need for its further substantiation.

**Keywords:** oil and gas production industry, oil and gas production technologies, residual reserves, methods for increasing oil recovery, steam-gravity drainage, greening of the technosphere, nature-like technologies, rational nature management, automation of production.

## REFERENCES

1. Dmitrievsky A. N. 2010, Fundamental Basis of Innovative Development of Oil and Gas Industry in Russia. *Georesursy. Energetika. Geopolitika* [Georesources. Energy. Geopolitics], issue 1 (1), pp. 1–19. (In Russ.)
2. Law of the Russian Federation of 21.02.1992 N 2395-1 (as amended on 25.12.2023) "On Subsoil" (as amended and supplemented, entered into force on 01.03.2024) (In Russ.)
3. Linnik Yu. N., Linnik V. Yu. 2019, Extraction of Hydrocarbon Raw Materials. *Entsiklopediya tekhnologii* [Encyclopedia of Technology]. Moscow, St. Petersburg, pp. 52–90. (In Russ.) URL: [https://anoire.center/wp-content/uploads/2022/encyclone/p\\_one/chpt\\_2.pdf](https://anoire.center/wp-content/uploads/2022/encyclone/p_one/chpt_2.pdf)
4. Muslimov R. Kh. 2005, Growth of Oil Field Development Systems on the Pages of the "Oil Industry" Journal. *Neftyanoye khozyaystvo* [Oil Industry], no. 9, pp. 57–63. (In Russ.)
5. Bulter R. M. 1994, Steam Assisted Gravity Drainage – Concept. Development, Performance and Future. *Journal of Canadian Petroleum Technology*, vol. 33, no. 2.
6. Butler R. M. 2010, Horizontal Wells for Oil, Gas and Bitumen Production. Moscow, 536 p. (In Russ.)
7. Boxerman A. A. 2007, Thermal Gas Method for Enhancing Oil Recovery. *Georesursy* [Georesources], no. 3 (22), pp. 18–20. (In Russ.)
8. Lipaev A. A. 2024, About Nature-Like Technologies in Oil Production. *Bureniye i neft'* [Drilling and Oil], no. 7, pp. 46–51. (In Russ.) <https://doi.org/10.62994/2072-4799.2024.85.24.009>
9. Dyachuk I. A. Zeigman Yu. V. 2015, Development of Flooded Oil Reservoirs at the Final Stages. Kazan, 274 p. (In Russ.) <https://www.elibrary.ru/vuhoen>
10. Kaushansky D. A., Dem'yanovsky V. B. 2018, Innovative Water Suppression Technology for Production Wells "Temposcreen-Plus". *Aktual'nyye problemy nefti i gaza* [Actual Problems of Oil and Gas], issue 1 (20), pp. 1–9. (In Russ.) <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2018-20.art22>

✉ [lipaevagni@yandex.ru](mailto:lipaevagni@yandex.ru)

11. Filenko D. G., Dadashev M. N., Vinokurov V. A., Grigoriev E. B. 2011, Supercritical Fluid Technology in Oil Refining and Petrochemistry. *Vesti gazovoy nauki* [News of Gas Science], no. 2 (7), pp. 82–92. (*In Russ.*)
12. Ibatullin R. R., Ibragimov N. G., Takhautdinov Sh. F. [et al.]. 2004, Increased Oil Recovery at a Late Stage of Field Development. *Theory. Methods. Practice*. Moscow, 292 p. (*In Russ.*)
13. Kulikova Yu. V., Sukhikh S. A., Babich O. O., Margina Yu. M. 2023, Method for Obtaining Biofuel from Macroalgae: Patent RU2787537C1 Russian Federation, no. 1. (*In Russ.*)
14. Galchenko Yu. P., Eremenko V. A. 2023, Natural and Technical Systems of Underground Development of Ore Deposits Based on Convergent Mining Technologies. 2nd ed. Moscow, 288 p. (*In Russ.*)
15. Al Baseese M. N. M., Lipaev A. 2024, Using Waste Insineration as a Means to Increase Oil Recovery. *Proceedings of 24th International Multidisciplinary Scientific Geoconference (SGEM 2024)*. Sofia, vol. 24, issue 5.1, pp. 363–370. <https://doi.org/10.5593/sgem2024/5.1/s20.46>

*The article was received on November 28, 2024*