

Аликин Э.А. (Пермский государственный национальный исследовательский университет)

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ СПЕЦИФИКА РАЦИОНАЛЬНОЙ СТАДИЙНОСТИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ (ГРР) ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЗАХОРОНЕНИЯ НЕФТЕПРОМЫСЛОВЫХ СТОКОВ

*Стадийность геологоразведочных работ рассматривается как процессуальная система, структура которой зависит от 2-х факторов: специфики полигона захоронения и принципов достоверности оценки эксплуатационной емкости пласта-коллектора; факторов, определяющих структуру стадийности. Изложение каждого этапа стадийности содержит: цель, метод, результат. **Ключевые слова:** категория достоверности, региональное изучение недр, опытно-промышленная эксплуатация.*

Alikin E.A. (Perm state national research University)

THE HYDROGEOLOGICAL SPECIFICITY OF THE RATIONAL AND THE STAGE OF EXPLORATION WORK (IRT) FOR ENSURING DISPOSAL OF OILFIELD WASTEWATER

*The stages of exploration work are considered as a procedural system, the structure of which depends on 2 factors: the specifics of the landfill and the principles of reliability of the assessment of the reservoir's operational capacity; factors that determine the structure of the stages. The statement of each stage of the stages contains: the goal, method, and result. **Keywords:** category of reliability, regional study of subsurface resources, experimental and industrial exploitation.*

Введение

Проблемы изучения участка недр для захоронения в нем ВЖО (вредных жидких отходов) и, в частности, нефтепромысловых стоков (НПС) заключается в следующем: если участок недр рассматривать как объект изучения, а оценку эксплуатационной емкости (ЭЕ) пласта-коллектора (ПК) как цель, то ГРР являются средством достижения цели.

Существование неразрывной связи между системами: ПЗ-ГРР-ЭЕ позволяет утверждать, что оптимальность достижения конечной цели ГРР зависит от уровня адекватности структур этих систем [2].

1. Специфика взаимосвязанных систем

1.1. По специфике ПЗ (полигона захоронения) как геолого-технического комплекса:

— по существу — это сложная система, характеризующаяся внутренним строением, внешними связями,

внутренним функционированием и генезисом, имеющая иерархическую структуру (естественное состояние и состояние эксплуатации);

— непременным условием его функционирования является изолированность от смежных сверху водоносных горизонтов (закрытость) и совместимость ВЖО (НПС) с пластовыми водами и водовмещающими породами;

— формирование эксплуатационной емкости ПЗ происходит только за счет превентивного повышения давления в пласте-коллекторе, вызывающего сжатие пластовых вод и раскрытие микротрещин и микропор водовмещающих пород; других источников формирования емкости не существует;

— поэтому режим эксплуатации ПЗ сопровождается систематическим повышением давления в ПК, т.е. режим эксплуатации ПЗ всегда неустановившийся;

— в связи с этим обстоятельством, площадь гидродинамического воздействия на конец эксплуатации ПЗ (25 лет) достигает равновеликого круга радиусом 150 км и площадью 70 тыс. км².

1.2. По специфике достоверности оценки эксплуатационной емкости ПЗ:

— учитывая накопленный опыт оценки прогнозных ресурсов и запасов подземных вод, где они разделяются по степени достоверности на различные категории P₃, P₂, P₁, C₁, C₂, B, A автором предложена классификация прогнозной вместимости и эксплуатационной емкости ПЗ [3], в ней выделяются следующие категории — P₂, P₁, C₁, C₂, B с учетом отнесения изучаемого ПЗ к определенной группе сложности по условиям разведки и освоения;

— познание достоверности эксплуатационной емкости изучаемого ПЗ является сложной системой, где категории емкости не что иное как иерархический ряд (классификация), отражающий их разнопорядковость (достоверность);

— исходя из необходимости оценки полной потенциальной возможности выявляемого ПЗ, количественно величина прогнозной вместимости является максимальной, а по достоверности — минимальной, последующие категории как бы «вложены» в предшествующие (принцип «матрешки») и количественно меньше их, но выше по достоверности.

1.3. По специфике ГРР:

— ГРР следует рассматривать как своеобразную процессуальную систему, определяемую ее стадийностью (реализация метода последовательных приближений);

— она заключается в дифференциации процесса на ряд последовательных этапов познания ПЗ соответствующего уровня изученности с синхронной и возрастающей по достоверности оценкой эксплуатационной емкости;

— сложность ГРП как системы находит свое отражение в системном моделировании, в результате которого создается взаимоувязанная, иерархически организованная совокупность частных моделей ПЗ;

— таким образом, процесс формирования этих моделей на основе выявленных взаимосвязей является по существу процессом управления, цель которого — последовательный перевод изучаемого потенциального ПЗ из естественного состояния в некоторое желаемое (безаварийная эксплуатация ПЗ с заданными технологическими параметрами);

2. Факторы, влияющие на структуру стадийности ГРП

Их целесообразно подразделить на упрощающие или усложняющие структуру стадийности ГРП.

2.1. Упрощающие факторы:

— ПЗ для захоронения НПС располагаются, как правило, в пределах одного из группы территориально сближенных эксплуатируемых или разведанных нефтяных месторождений; ГРП, связанные с их изучением (поиском и разведкой), существенно повысили геолого-гидрогеологическую информативность данного участка недр;

— выбор перспективного пласта-коллектора в разрезе вскрытых газонефтеводоносных комплексов (ГНВК) опирается на результаты выполненных региональных научно-исследовательских работ по структурно-тектоническим, палеогеографическим, литолого-фациальным условиям площади гидродинамического воздействия будущей эксплуатации ПЗ, полученных в процессе полевых геофизических работ, бурения и опробования опорных и параметрических скважин;

— НПС по химическому составу практически идентичны пластовым рассолам и отличаются только меньшей минерализацией, наличием механических примесей и тяжелых металлов; поскольку НПС используются для поддержания пластового давления (ППД) в разрабатываемых нефтяных пластах, то для обеспечения требуемой приемистости нагнетательных скважин были разработаны требования к их водоподготовке, направленные на совместимость НПС с пластовыми рассолами и водовмещающими породами. Они изложены в ОСТ 39-225-88 «Вода для заводнения нефтяных пластов. Требования к качеству», в которых рекомендуются способы водоподготовки НПС;

— в связи с большим разнообразием геолого-гидрогеологических и геоэкологических условий площади гидродинамического воздействия будущей эксплуатации ПЗ принципиально важно отнесения их к группам определенной сложности по условиям разведки и освоения; автором предложена бальная система, изложенная в статье [1] и откорректированная позднее; согласно ей, оценка степени сложности всего разнообразия потенциальных ПЗ находится в интервале от 3 до 9 баллов: первая — от 3 до 5, вторая — от 6 до 9;

— учитывая вышеизложенное, представляется целесообразным изучаемые участки недр для организации ПЗ НПС отнести к 1-й и 2-й группам сложности по условиям разведки и освоения.

2.2. Осложняющие факторы:

— громадная площадь гидродинамического воздействия эксплуатации ПЗ предопределяет изучение геолого-гидрогеологических условий на начальных этапах ГРП прямыми и косвенными методами: на участках недр, примыкающих к ПЗ — прямыми, не удаленных — косвенными; очевидно, что степень достоверности их существенно отличается, что предопределяет различное качество составляемых моделей на начальный и конечный периоды будущей эксплуатации ПЗ: более достоверное для начального и менее достоверное для конечного;

— выполненные ранее расчеты роста пластового давления в процессе эксплуатации ПЗ (25 лет) применительно к 3-м наиболее распространенным схемам ПК (неограниченный, полуограниченный и пласт-круг) показали, что 90 % его происходит в начальный десятилетний период, а в начальный пятилетний составляет порядка 80 % с площадью гидродинамического воздействия соответственно 25 и 13 тыс. км², следовательно, требуемую достоверность оценки эксплуатационной емкости можно достичь для ПЗ 2-й группы сложности ПЗ посредством опытно-промышленной эксплуатации в течение 10 лет с последующим переходом на эксплуатационную разведку.

3. Стадийность ГРП

Учитывая необходимость соблюдения адекватности изучения триады взаимоувязанных систем: участка недр (будущего ПЗ) как объекта изучения, эксплуатационной емкости как цели и стадийности ГРП как средства достижения цели, целесообразно предложить следующую стадийность ГРП:

— этап I — региональное изучение недр по обоснованию перспективного ПК и выявления в его пределах благоприятного участка для размещения ПЗ;

— этап II — оценка выявленного ПЗ с целью обоснования целесообразности следующих стадий ГРП;

— этап III — разведка или опытно-промышленная эксплуатация ПЗ;

— этап IV — эксплуатационная разведка ПЗ.

Этап I. Региональное изучение недр

Достаточно длительный опыт проведения ГРП по гидрогеологическому обоснованию захоронения НПС позволил установить необходимость этой стадии, учитывая наличие в фондах геологической информации материалов, связанных с поиском и разведкой нефтяных и газовых месторождений: результатами площадных геофизических работ, региональных научно-исследовательских работ по структурно-тектоническим, палеогеографическим, литолого-фациальным условиям площади гидродинамического воздействия будущего ПЗ, бурению и опробованию скважин различного назначения, особенно опорных и разведочных. Их обобщение и анализ позволяет обосновать перспективный ПК и выделить участки недр, благоприятные для дальнейших поисково-оценочных работ. Поэтому целью данной стадии является обоснование выбора участка недр в пределах площади развития перспективного ПК с оценкой прогнозной вместимости его

по кат. P_2 (для 2-й группы ПЗ) и P_1+P_2 (для 1-й группы ПЗ).

Для выполнения этой цели необходимо решение следующих задач:

- обосновать изолированность выбранного ПК от смежных ГНВК (литология и мощность верхнего водоупора на изучаемой площади);

- охарактеризовать степень однородности водовмещающих пород, глубину их залегания, мощность, пластовое давление; минерализацию пластовых вод, величину напора над кровлей ПК;

- выявить перспективный участок недр для будущего ПЗ;

- охарактеризовать ориентировочно граничные условия в плане и разрезе и составить принципиальную модель ПЗ;

- рассчитать величины расчетного допустимого пластового давления на конец срока эксплуатации ПЗ.

Основным методом решения этих задач является сбор, обобщение, систематизация, переинтерпретация и анализ фондовых материалов. Эти работы носят тематический характер и не нуждаются в оформлении лицензии на изучение недр. Методы оценки прогноз-ной вместимости следующие: для ПЗ 1-й группы — гидродинамический, для 2-й группы — балансый (по В.Н. Шелкачеву) [1].

Этап 2. Оценка выявленного ПЗ

Целевое назначение работ — оценка участка недр с благоприятными условиями организации ПЗ и обоснование целесообразности постановки в его пределах разведочных работ.

Реализация цели осуществляется последовательным проведением следующих видов работ:

- обоснование использования имеющегося фонда скважин различного назначения для постановки ГИС и ОФР путем их переоборудования или добуривания (проверка качества цементации интервала верхнего водоупора над целевым ПК);

- переоборудование (установка пакера в эксплуатационной колонне глубже ПК и ее прострел для формирования фильтра) и добуривания скважин до подошвы целевого ПК; установка фильтровой колонны;

- проведение ГИС в интервале целевого ПК, одиночных откачек и нагнетаний для определения дебита или приемистости скважин, гидродинамических параметров водовмещающих пород и их однородности по площади ПЗ; химического состава пластовых вод, пластового давления в ПК;

- составление предварительной модели эксплуатируемого ПЗ с обоснованием граничных условий его в плане и разрезе;

- предварительная оценка эксплуатационной емкости по кат. C_1+C_2 (для ПЗ 1-й группы сложности) и прогнозной вместимости по кат. C_2 (для ПЗ 2-й группы).

Если рассчитанная величина эксплуатационной емкости гидродинамическим методом на конец расчетного срока эксплуатации ПЗ вызовет существенно меньший прирост пластового давления в ПК по срав-

нению с допустимым, то оцененный участок недр рекомендуется для постановки дальнейших разведочных работ.

При невозможности обосновать расчетную фильтрационную модель эксплуатируемого ПЗ или при ее неоднозначности рекомендуется перейти на опытно-промышленную эксплуатацию оцененного ПЗ.

Этап 3. Разведка или опытно-промышленная эксплуатация ПЗ

3.1 Разведка

Целью разведочных работ является получение исходных данных для составления технического проекта эксплуатации ПЗ. Для ее реализации выполняются следующие виды работ:

- бурение разведочных и наблюдательных скважин (по необходимости как на целевой ПК, так и на смежный ГНВК сверху или буферный горизонт), проведение в них ГИС;

- проведение ОФР в составе: дублетного опробования нагнетательной и откачиваемой скважин для определения миграционных параметров водовмещающих пород ПК; проведение длительного (1–3 месяца) опытного кустового нагнетания НПС с 1-й ступенью приемистости для определения расчетных фильтрационных параметров (km и a);

- обоснование модели эксплуатируемого ПЗ и оценка эксплуатационной емкости ПЗ;

- обоснование схемы размещения нагнетательных скважин, их конструкция, приемистость и обустройство (измерительные приборы, насосное оборудование);

- определяются закономерности (функциональные зависимости) повышения пластового давления в ПК от приемистости (суммарной) и времени эксплуатации полигона.

Основным методом оценки эксплуатационной емкости для ПЗ 1-й группы сложности является гидродинамический метод и его модификация — метод тематического моделирования.

Рекомендуемый комплекс работ позволяет оценить эксплуатационную емкость по кат. В (для ПЗ 1-й группы).

3.2 Опытно-промышленная эксплуатация

При невозможности обосновать фильтрационную схему эксплуатации полигона, единственным методом оценки эксплуатационной емкости ПЗ является гидравлический, поскольку в настоящее время не имеется аналогов разведываемых ПЗ для использования метода гидрогеологической аналогии.

По существу, гидравлический метод является реализацией натурной имитационной модели эксплуатируемого ПЗ. Целью ОПЭ является обоснование параметров проекта промышленной эксплуатации ПЗ. Для реализации цели предлагается решение следующих задач:

- установление эмпирических зависимостей повышения пластового давления в ПК от суммарной приемистости нагнетательных скважин — $\Delta P=f(Q)$ и от длительности закачки НПС — $\Delta P=f(t)$;

№№ п/п	Этапы ГРР	Степень изученности участка недр		Категории прогнозной вместимости и эксплуатационной емкости ПК			
		до начала работ	после	1-я группа ПЗ по сложности		2-я группа ПЗ по сложности	
				до начала работ	после	до начала работ	после
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Региональная оценка	—	выявленный участок недр	—	P ₁	—	P ₂
2	Оценка выявленного ПЗ	выявленный участок недр	оцененный ПЗ	P ₁	C ₁ +C ₂	P ₂	C ₂
3	Разведка ОПЭ-1 ОПЭ-2	оцененный выявленный оцененный	разведанный оцененный разведанный	C ₁ +C ₂ — —	B — —	— C ₂ C ₁	— — C ₁ B
4	Эксплуатационная разведка	разведанный	эксплуатируемый	B	A	B	A

- составление модели эксплуатируемого ПЗ;
- обоснование и расчет эксплуатационной емкости ПЗ;
- оценка размеров горного отвода и санитарно-защитных зон (СЗЗ).

Поскольку 90 % повышения пластового давления приходится на начальный период эксплуатации ПЗ (10 лет) длительность ОПЭ определяется этим сроком с разбивкой по 5 лет на 2 периода — начальный и конечный.

В состав ОПЭ входят следующие виды полевых работ:

- бурение или переоборудование скважин для наблюдения за ростом пластового давления в буферном и смежном с ПК водоносных горизонтах, а также в зоне гидродинамического воздействия ПК за 10-летний период ОПЭ в пределах участков, отличающихся по литологии и мощности водовмещающих пород с характерными для ПЗ;

— на начальном этапе ОПЭ выбираются от 1 до 2–3 нагнетательных скважин с оптимальной и ступенчатой во времени суммарной приемистостью 0,6, 0,8 и 1,0 Q_{сум} (заявленной потребности в эксплуатационной емкости). Длительность ОПЭ определяется выявлением закономерности между повышением пластового давления и суммарной приемистостью нагнетательных скважин на каждой ступени на графике в преобразованных координатах: $\Delta P/Q = f(Q)$ — 1-я и 2-я ступень не более 6 месяцев каждая.

В процессе ОПЭ ведутся замеры приемистости и пластового давления в нагнетательных скважинах, в наблюдательных скважинах — повышение пластового давления и концентрации индикатора НПС, фиксируемые пластовыми датчиками без отбора проб жидкости.

В связи со сложностью геолого-гидрогеологических условий, вызванных латентностью границ неоднородности внутренней и внешней зон гидродинамического

воздействия, проявляется неоднозначность прогнозной модели на период ОПЭ. Поэтому достоверность оценки эксплуатационной емкости ПК целесообразно подразделить на 2 периода — по 5 лет каждый. При совпадении расчетных параметров ОПЭ (Q_{сум}, $\Delta P_{расч}$) с фактическими по начальному этапу (первые 5 лет ежегодно) ОПЭ продолжается в том же режиме; при разнице любого из параметров более, чем на 20 % необходима корректировка модели ПЗ методом математического моделирования и переоценка эксплуатационной емкости

ПЗ на последующий период ОПЭ и промышленной эксплуатации. В результате выполнения этих работ рекомендуется оценить эксплуатационную емкость ПЗ по кат. C₁ (для начального периода ОПЭ и кат. B — для конечного).

Этап 4. Эксплуатационная разведка

Целью этой стадии является сопоставление расчетных и фактических параметров промышленной эксплуатации полигона приемистости нагнетательных скважин и темпов роста пластового давления в ПК с соблюдением неравенства $\Delta P_{расч} \leq \Delta P_{доп}$ в процессе функционирования ПЗ.

Эксплуатационная разведка базируется на мониторинге режима эксплуатации ПЗ, включающем систематические наблюдения за приемистостью нагнетательных скважин, ростом пластовых давлений в нагнетательных и наблюдательных скважинах, конфигурацией площади замещения пластовых рассолов НПС по результатам ежегодного опробования наблюдательных скважин (отбор жидкости и ее анализ).

Для хранения и обработки информации по результатам ГРР, режиме ОПЭ и промышленной эксплуатации полигона рекомендуется создание компьютерной базы данных.

На основании вышеизложенного предлагается рациональное соотношение между этапами ГРР, изученностью участков недр для организации ПЗ и категорией прогнозной вместимости и эксплуатационной емкости ПК, иллюстрируемое таблицей.

Заключение

В докладе рассмотрены: особенности участков недр для размещения ПЗ, специфика достоверности формирования оценки прогнозной вместимости и эксплуатационной емкости ПК и соответственно стадийности и методики ГРР.

Достижение соблюдения адекватности структур данной триады позволяет по существу оптимизировать организацию управления процессом перевода

изучаемого участка недр (потенциального ПЗ) из естественного состояния в состояние безаварийной эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аликин, Э.А. Методика оценки эксплуатационной емкости глубоких водоносных горизонтов для захоронения в них вредных жидких отходов / Э.А. Аликин // Разведка и охрана недр. — 2015. — № 7. — С. 46–49.

2. Аликин, Э.А. Концепция геологического изучения участков недр для захоронения в них вредных жидких отходов (ВЖО) / Э.А. Аликин // Разведка и охрана недр. — 2016. — № 5. — С. 62–64.

3. Аликин, Э.А. Рамочная классификация прогнозной вместимости и эксплуатационной емкости глубоких водоносных горизонтов / Э.А. Аликин // Недропользование XXI век. — 2017. — № 6. — С. 144–149.

© Аликин Э.А., 2021

Аликин Эдуард Александрович // alikin@psu.ru

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ

УДК 549.731.14:622.7.09(575.172)

Хасилов Х.Н.¹, Омонов Х.А.¹, Рустамов Б.З.², Адиллов А.Ю.², Мовланов Ж.Ж.³ (1 — АО «Узбекистон темир йуллари», 2 — Горно-металлургический комплекс на базе месторождения Тебинбулак, 3 — ГП «Институт минеральных ресурсов»)

ТЕХНИЧЕСКАЯ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ТИТАНОМАГНЕТИТОВЫХ РУД ТЕБИНБУЛАК

*Важное значение в отрасли черной металлургии имеют запасы железных руд, в том числе титаномагнетитовые. В последние годы во всем мире резко возрос интерес к месторождениям титаномагнетитовых руд, которые являются стратегическим минеральным сырьем любой страны. Залежи практически есть на каждом континенте (Европейские государства, Страны Азии, Россия, Африка, Южная и Северная Америка, Новая Зеландия и т.д.). Мировые прогнозные ресурсы железной руды достигают примерно 600 млрд т, а разведанные запасы — 260 млрд т, мировые подтвержденные запасы железной руды составляют 212,7 млрд т [4]. **Ключевые слова:** титаномагнетит, черная металлургия, железная руда, интрузивные породы, ванадий, концентрат, обогатимость, технико-экономическое обоснование, рентабельность, 3D модель.*

Khasilov Kh.N.¹, Omonov Kh.A.¹, Rustamov B.Z.², Adilov A.Yu.², Movlanov Zh.Zh.³ (1 — Uzbekistan temir yullari, 2 — Mining and metallurgical complex on the basis of the Tebinbulak field, 3 — Institute of Mineral Resources)

TECHNICAL FEASIBILITY OF DEVELOPMENT OF TITANOMAGNETITE ORE DEP OSIT TEBINBULAK

Iron ore reserves, including titanomagnetite ones, are important in the iron and steel industry. In recent years, worldwide interest in titanomagnetite ore deposits, which are strategic mineral raw materials of any country, has sharply increased. There are practically deposits on every continent (European states, Asian countries, Russia, Africa, South and North America, New Zealand, etc.). The world forecasted resources of iron ore reach about 600 billion tons, and the explored re-

*serves are 260 billion tons, the world proven reserves of iron ore are 212.7 billion tons. **Keywords:** titanomagnetite, ferrous metallurgy, iron ore, intrusive rocks, vanadium, concentrate, enrichment, feasibility study, profitability, 3D model.*

Введение

На территории Республики Узбекистан имеется крупное месторождение титаномагнетитовых руд Тебинбулак. Оно расположено приблизительно в 740 км северо-западнее Ташкента. Регион — часть Центрально-азиатской степной области с наклонными равнинами. Месторождение локализуется на северо-западной оконечности гор Султан-Увайс в Караузьякском районе Республики Каракалпакстан (рис. 1). Ближайший административный центр г. Нукус, шестой по величине город Узбекистана, столица автономной Республики Каракалпакстан. Население Нукуса превышает 300 000 человек. Город расположен в 75 км северо-западнее от месторождения Тебинбулак.

Ванадийсодержащие титаномагнетитовые руды распространяются в основной и ультраосновной интрузивной породе, которой свойственно повышенное содержание ванадия и титана. За рубежом с этим промышленным типом руд связано 6,5 % подтвержденных запасов железных руд, около 60 % запасов TiO_2 и более 90 % запасов V_2O_5 . Страны, обладающие крупнейшими запасами таких руд, — Китай, Россия, Канада, Норвегия, ЮАР, США, Финляндия и Бразилия. Песчаные месторождения обнаружены в Австралии, Индии и прибрежных странах Африки. В табл. 1 приведена характеристика крупных месторождений титаномагнетитовых руд мира.

Содержание и соотношение титана, ванадия и железа в титаномагнетитовых рудах значительно варьируют. Руды могут быть существенно титановыми или железными. Промышленную ценность месторождений повышает наличие ванадия, который во многих случаях относится к основным компонентам руды.

Из-за различия в генезисе месторождений за рубежом используют разнообразные системы добычи и переработки таких руд.

Ванадийсодержащие титаномагнетитовые руды перерабатывают двумя способами — для производства стали и ванадиевых продуктов. Последовательность первого: