

DOI: <https://doi.org/10.25689/NP.2021.4.353-365>

УДК 622.2 (470.51)

Исследование нефтяных пластов при помощи трассерного метода

Красноперова С.А.

Удмуртский Государственный Университет, Ижевск, Россия

The investigation of oil reservoirs using the tracer method

S.A. Krasnoperova

Udmurt state University, Izhevsk, Russia

E-mail: krasnoperova_sve@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрена проблема увеличения флюидопроводимости пласта и изменения его гидрогеологической структуры посредством применения технологии заводнения. Особенно это происходит на поздней стадии разработки. Для решения данной проблемы в статье описываются трассерные (индикаторные) исследования одного из нефтяных месторождений башкирского объекта Удмуртской Республики. На основании трассерных методов исследований возможно получить достоверную информацию о наличии высокопроницаемых каналов фильтрации (суперколлекторов) между нагнетательной скважиной и ближайшими добывающими скважинами башкирского объекта, а также о распределении потоков нагнетаемой воды и определении скорости фильтрации закачиваемого агента в коллекторе. Полученные результаты указанных исследований позволят разработать программу применения потокоотклоняющих технологий и уточнения технологии воздействия на очаге нагнетательной скважины нефтяного месторождения. Данные исследования проведены на участке нагнетательной скважины башкирского яруса нефтяного месторождения путем закачки жидкости, меченной индикатором Уранином А, в пропластки А₄₋₃, А₄₋₄, А₄₋₅ и жидкости, меченной Эозином Н, в пропласток А₄₋₆. Выбор индикатора обусловлен тем, что геолого-физические условия месторождения (состав пород, состав пластовой нефти, закачка пресной воды, минерализация пластовой воды, рН среды, и температура пласта) наиболее приемлемы для применения в качестве трассеров производных флуоресцеина. По результатам индикаторных исследований выявлено, что параметры фильтрации трассерного потока по расчлененной и монолитной частях продуктивного пласта достаточно близки и надежно коррелируют. Это подтверждает наличие гидродинамической связи между всеми пропластками в очаге нагнетательной скважины, то есть башкирский ярус исследуемого месторождения в целом представляет собой единый гидродинамический связанный как по вертикали, так и по горизонтали природный резервуар.

Ключевые слова: индикатор, трассерные исследования, Уранин А, Эозином Н, месторождение, нефть, продуктивный пласт.

Для цитирования: Красноперова С.А. Исследование нефтяных пластов при помощи трассерного метода//Нефтяная провинция.-2021.-№4(28).-Часть 2.-С.353-365. DOI <https://doi.org/10.25689/NP.2021.4.353-365>

Abstract. The article deals with the problem of increasing the reservoir fluid conductivity and changing its hydrogeological structure through the use of waterflooding technology. This is especially true at a later stage of development. To solve this problem, the article describes tracer (indicator) studies of one of the oil fields of the Bashkir object of the Udmurt Republic. Based on tracer research methods, it is possible to obtain reliable information about the presence of high-permeability filtration channels (super reservoirs) between the injection well and the nearest production wells of the Bashkir object, as well as about the distribution of injected water flows and determining the filtration rate of the injected agent in the reservoir. The obtained results of these studies will make it possible to develop a program for the application of flow diverting technologies and refine the technology of impact on the source of an injection well of an oil field. These studies were carried out at the section of the injection well of the Bashkirian stage of the oil field by injecting the fluid labeled with the Uranin A indicator into the A₄₋₃, A₄₋₄, A₄₋₅ interlayers and the Eosin H-labeled fluid into the A₄₋₆ interlayer. The choice of the indicator is due to the fact that the geological and physical conditions of the field (composition of rocks, composition of reservoir oil, fresh water injection, salinity of reservoir water, pH of the medium, and reservoir temperature) are most suitable for use as tracers of fluorescein derivatives. According to the results of indicator studies, it was revealed that the filtration parameters of the tracer flow along the dissected and monolithic parts of the productive formation are quite close and reliably correlate. This confirms the presence of a hydrodynamic connection between all interlayers in the source of the injection well, that is, the Bashkirian stage of the studied field as a whole is a single hydrodynamic connected natural reservoir both vertically and horizontally.

Key words: indicator, tracer studies, Uranin A, Eosin N, field, oil, productive formation

For citation: S.A. Krasnoperova Issledovanie neftjanyh plastov pri pomoshhi trassernogo metoda [The investigation of oil reservoirs using the tracer method]. Neftyanaya Provintsiya, No. 4(28), Part 2, 2021. pp. 353-365. DOI <https://doi.org/10.25689/NP.2021.3.353-365> (in Russian)

В настоящее время большинство месторождений Удмуртии находятся на поздних стадиях разработки. Они характеризуются высокой геологической неоднородностью продуктивных пластов, связанных с наличием в них высокопроницаемых пропластков. Вышеуказанные особенности разработки нефтяных месторождений присущи и

башкирскому ярусу Гремихинского месторождения, которое характеризуется сложностью строения пластов, многопластовостью, зональной и пластовой неоднородностью.

Основным объектом разработки указанного месторождения является башкирский ярус, в котором сосредоточена основная часть (83%) геологических запасов нефти. Продуктивные отложения этого яруса в основном представлены известняками с редкими тонкими глинистыми прослоями. Среди известняков различаются разнотонные и пелитоморфные разновидности. Нефтедержащими коллекторами являются известняки серые и светло-серые, массивные. Залежи башкирского яруса разрабатываются неравномерно, так как он состоит из множества пропластков и условно разделен на три пачки [1]. Верхняя пачка данного яруса характеризуется высокой расчлененностью и низкой подвижностью флюидов, в связи с чем из нее был извлечен незначительный объем запасов нефти, что подчеркивает актуальность ее довыработки.

Комплексом мероприятий, направленных на выработку запасов верхней пачки, является проведение выравнивания профиля приемистости (ВПП) в нагнетательных скважинах [2].

С целью определения влияющих скважин для более точной оценки проведения ВПП предлагается провести трассерные исследования на скважинах, производящих закачку агента вытеснения на башкирский ярус Гремихинского месторождения. На основании трассерных методов исследований, возможно получить информацию о наличии высокопроницаемых каналов фильтрации (суперколлекторов) между нагнетательной скважиной и ближайшими добывающими скважинами башкирского объекта, а также о распределении потоков нагнетаемой воды и определение скорости фильтрации закачиваемого агента в коллекторе.

Полученные при выполнении трассерных исследований результаты предназначены для разработки программ применения потокоотклоняющих

технологий и уточнения технологии воздействия на очаге нагнетательной скважины Гремихинского месторождения, а также для специалистов ОАО «Удмуртнефть», руководящих производственными процессами, связанными с эксплуатацией месторождения.

Индикаторные исследования на Гремихинском месторождении позволят получить информацию, предназначенную для решения ряда задач, связанных с выполнением мероприятий по увеличению нефтеотдачи пласта, а именно:

- выявление гидродинамической связи между нагнетательной и добывающими скважинами;
- определение истинной скорости и направления движения нагнетаемой воды;
- установление количественного распределения потока нагнетаемой жидкости между добывающими скважинами;
- определение параметров высокопроницаемых каналов фильтрации (ВКФ) в межскважинном пространстве исследованного участка пласта.

Индикаторный метод основан на добавке меченого вещества в нагнетаемую в пласт жидкость и прослеживании выхода меченого вещества вместе с добываемой продукцией. При этом «трассируются» реальные фильтрационные потоки, обусловленные как особенностями геологического строения пласта, так и режимом разработки месторождений [3, 4]. Основными объектами индикаторного метода являются фильтрационная неоднородность межскважинного пространства нефтяного пласта, как некий обобщенный показатель геологической и технологической неоднородностей, а также процессы вытеснения нефти. Такой подход оправдан методически, так как ни один из существующих в настоящее время методов исследования не позволяет детально изучить межскважинное пространство и протекающие в нем фильтрационные процессы [5, 6].

Для получения более полной картины по всему месторождению целесообразно вводить различающиеся между собой индикаторы в систему нагнетательных скважин. Чем больше участков, на которых проводятся фильтрационные исследования, тем более детально будет изучен пласт и процессы вытеснения из него нефти. Для определения качества выработки исследуемого объекта в нефтеносную залежь в данной работе были закачены индикаторы: Уранин А. и Эозин Н. Данные индикаторы хорошо растворяются в меченой жидкости; фильтруются вместе с трассируемой жидкостью с минимальной адсорбцией в породе исследуемого пласта.

Технология проведения индикаторных исследований с использованием меченой жидкости заключается в следующем (Рис. 1):

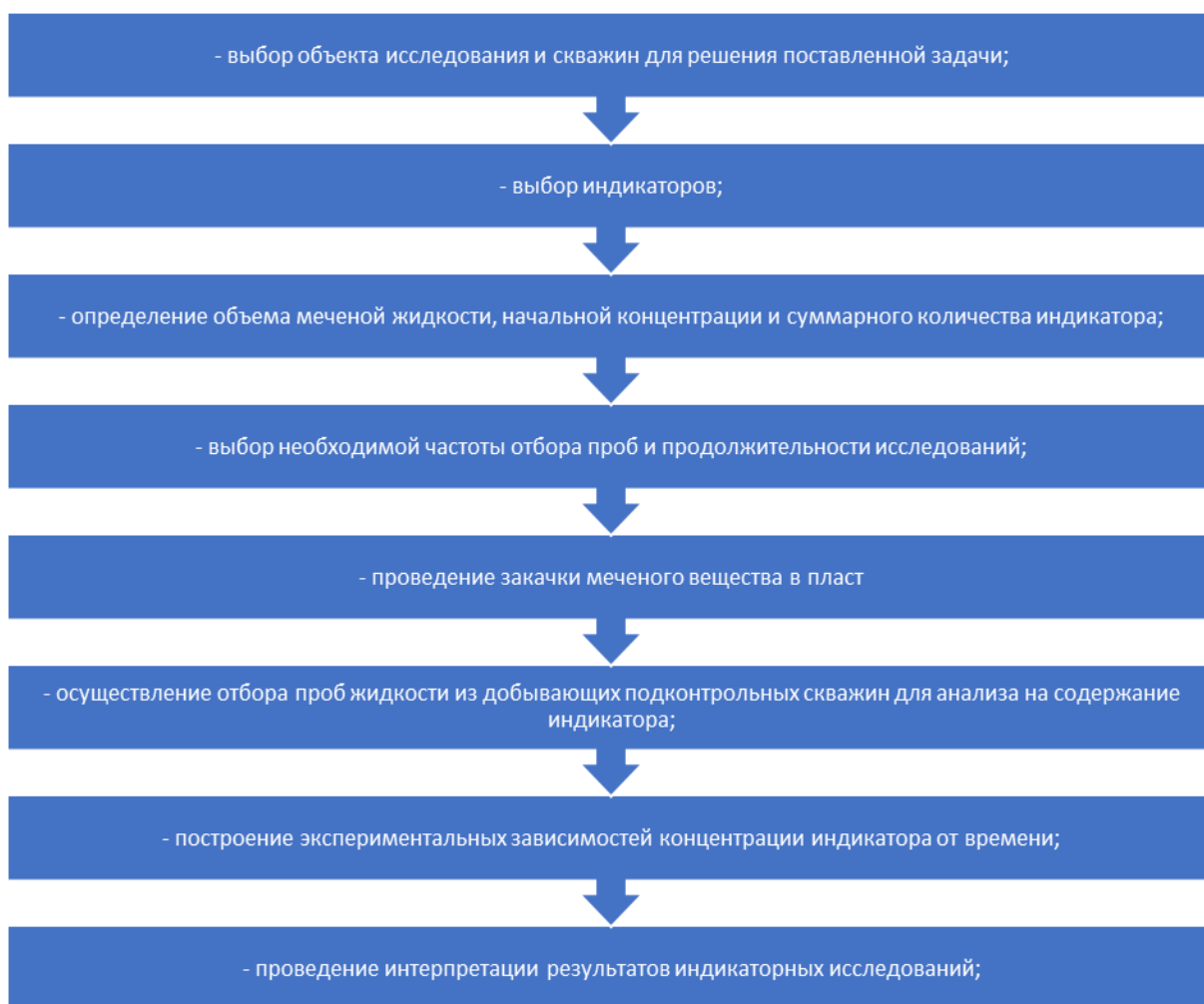


Рис. 1. Технология проведения индикаторных исследований с использованием меченой жидкости [7].

Закачка меченой жидкости проведена в разные интервалы перфорации скважины 851 Гремихинского месторождения. В расчленённые пропластки A_{4-3} , A_{4-4} , A_{4-5} в качестве индикатора закачан раствор Уранина А, а в монолитный пропласток A_{4-6} – раствор Эозина Н. В качестве анализатора применялся спектрофлуориметр марки «ФЛЮОРАТ – 02 – ПАНОРАМА». В лаборатории была проведена калибровка растворов на пластовой воде, которая показала надежное обнаружение индикатора начиная с концентрации равной 0,1 мкг/л и выше. Проведен анализ проб попутно добываемой воды с добывающих скважин участка.

На рис. 2 изображена карта текущих отборов участка на момент проведения индикаторных исследований с указанием скважин, откуда проводился отбор проб [8].

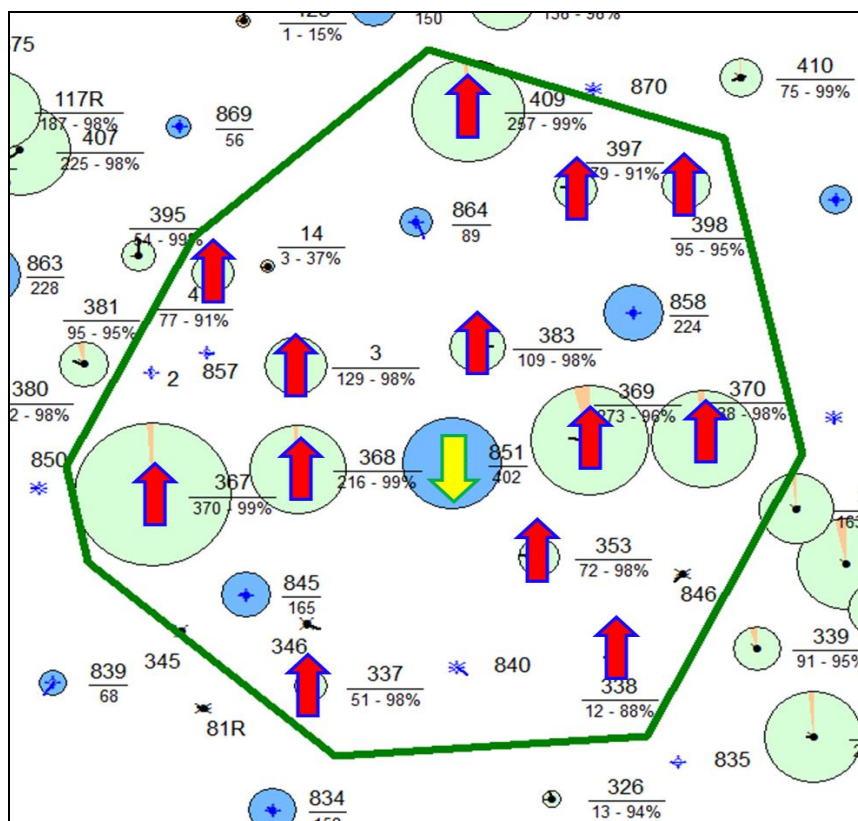


Рис. 2. Карта текущих отборов очага скважины 851

Результаты анализа отобранных проб на наличие индикатора представлены в табл. 1, 2.

Анализ динамики выноса обоих индикаторов по каждой скважине показал, что параметры фильтрации трассерного потока по расчлененной и монолитной частях продуктивного пласта достаточно близки и надежно коррелируют (Рис. 3). Это подтверждает наличие гидродинамической связи между всеми пропластками в очаге нагнетательной скважины 851.

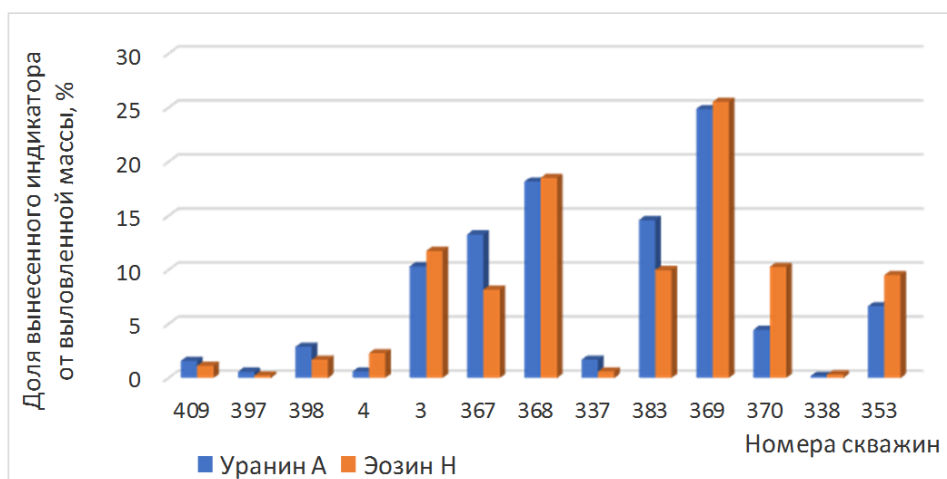


Рис. 3. Распределение извлеченных индикаторов Уранина А и Эозин Н

По времени выхода первого и последнего пиков рассчитаны максимальные и минимальные скорости перемещения индикатора, а также максимальные и минимальные значения проницаемости трещин и высокопроницаемых каналов фильтрации (ВКФ) от нагнетательной скважины 851.

Расстояние от скважины 821 до отреагировавших добывающих скважин меняется от 158 до 459 м. При этом максимальные скорости прохождения Уранина А по пласту к исследуемым скважинам варьируют в диапазоне от 39 до 4729 метров в сутки, а минимальные скорости – в интервале от 7 до 158 м/сут.

Диапазон изменения интервала максимальной проницаемости трещин и ВКФ заключается от 3 мкм² до 423 мкм². Минимальная проницаемость ВКФ заключается в интервале от 0,3 мкм² до 14,1 мкм².

Максимальные скорости прохождения Эозина Н по пласту к исследуемым скважинам варьируют в диапазоне от 36 до 2779 метров в сутки, а минимальные скорости – в интервале от 7 до 197 м/сут.

Диапазон изменения интервала максимальной проницаемости трещин и ВКФ заключается от 3 мкм² до 161 мкм². Минимальная проницаемость ВКФ заключается в интервале от 0,2 мкм² до 17,6 мкм².

Поле скоростей продвижения первых порции индикатора приведены на рис. 4 для Уранина А и Эозина Н соответственно.

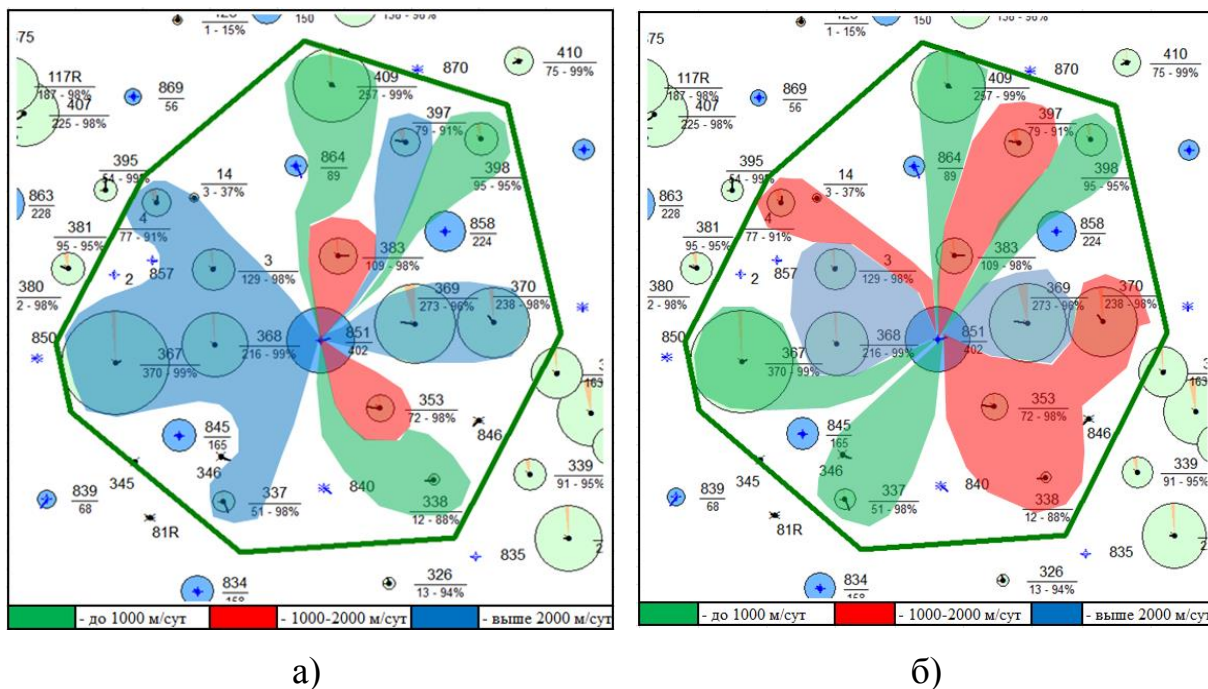


Рис. 4. Поля скоростей продвижения Уранина А (а) и Эозина Н, закаченных в нагнетательную скважину 851

На основе полученных данных построены роза-диаграммы распределения закачиваемой воды (Рис. 5) по высокопроницаемым каналам фильтрации.

По результатам распределения массы индикатора определен объем каналов трещин ВКФ, приходящихся на каждую добывающую скважину. Суммарный объем зарегистрированных высокопроводящих каналов, по которым прошел индикатор, составил 1337 м³, из них:

- микро- и макротрещин – 2,3 м³ (Уранин А) и 15,8 м³ (Эозин Н);
- высокопроницаемых каналов фильтрации – 32,7 м³ (Уранин А) и 358 м³ (Эозин Н);
- каналов фильтрации, близких по проницаемости к проницаемости пласта – 492,6 м³ (Уранин А) и 435 м³ (Эозин Н).

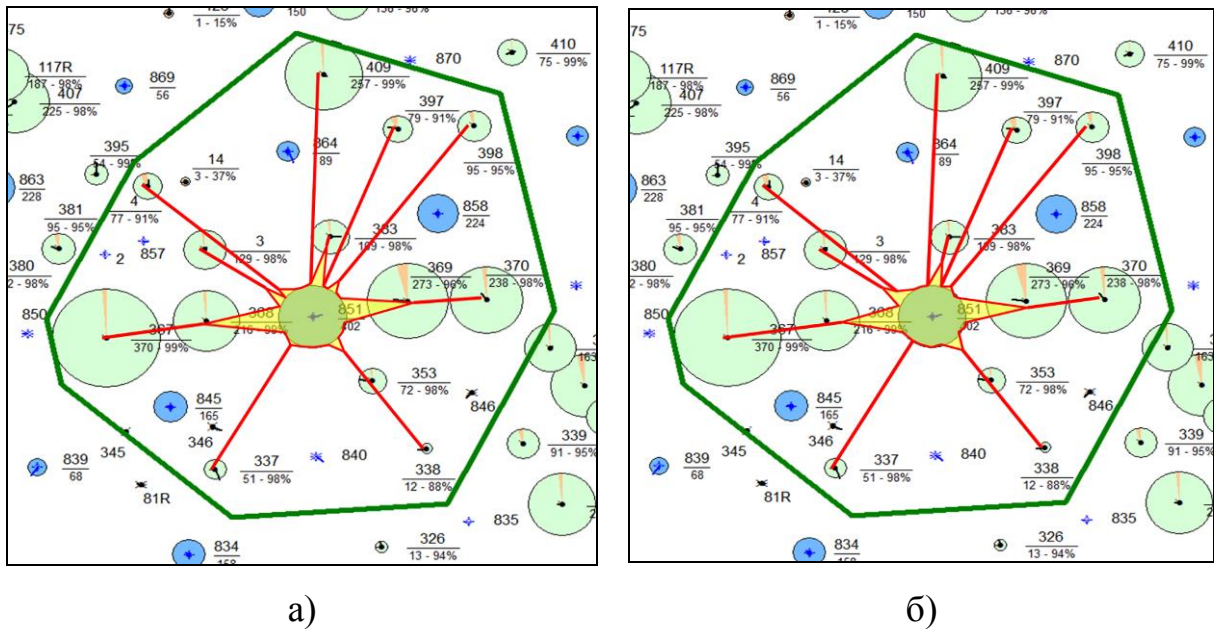


Рис. 5. Роза-диаграмма распределения закачиваемой воды в пропластки A_{4-3} , A_{4-4} , A_{4-5} Уранина А (а) и A_{4-6} Эозина Н

Однако, учитывая, что пропластки не изолированы друг от друга и имеют как минимум перетоки и сообщающиеся каналы фильтрации, то оценочный объем ВКФ равен 700-1000 м³.

Заключение

По результатам проведенных трассерных исследований на очаге скважины 851 можно сделать следующие выводы.

1. Установлена гидродинамическая связь между нагнетательной скважиной 851 и всеми добывающими скважинами первой и второй орбиты окружения. При этом оба трассера выявлены в продукции всех реагирующих скважин очага скважины 851.
2. Суммарный объем зарегистрированных высокопроводящих каналов, по которым прошел индикатор, составил 1337 м³, оценочный объем ВКФ равен 700-1000 м³.
3. Выявлено относительно равномерное распределение обоих индикаторов по скважинам и направлениям, что подтверждает наличие гидродинамической связи на объекте A_4 как по вертикали, так и по горизон-

тали. Параметры фильтрации трассера (скорость фильтрации, количество и эффективная проницаемость высокопроницаемых каналов фильтрации, их объем и т. д.) по расчлененным пропласткам A_{4-3} , A_{4-4} , A_{4-5} и относительно монолитному пропластку A_{4-6} близки, хотя скорости продвижения индикатора по объектам находятся в широких пределах.

Таким образом, объект A_4 Башкирского яруса Гремихинского месторождения в целом представляет собой единый гидродинамический связанный как по вертикали, так и по горизонтали природный резервуар.

Список литературы

1. Дополнения к технологической схеме разработки Гремихинского месторождения. ЗАО «ИННЦ». Ижевск, 2017.
2. Хозяинов М.С., Чернокожев Д.А. Компьютерное моделирование фильтрации меченой жидкости с целью уточнения геологической модели эксплуатируемого нефтяного пласта // Каротажник. 2004. № 3-4 (116-117). – С. 293 – 294.
3. Трассерные исследования как наиболее информативный, простой и экологичный метод проведения ГДИС. URL: http://www.nftn.ru/blog/trassernye_issledovaniya_kak_naibolee_provedeniya_gdis (дата обращения: 09.08.2021).
4. Трассерные исследования. Проведение, интерпретация и применение результатов интерпретации URL: <https://www.petroleumengineers.ru/sites/default/files/u4395/trassernye> (дата обращения: 09.08.2021).
5. Соколовский Э.В., Соловьев Г.Б., Тренчиков Ю.И. Индикаторные методы изучения нефтегазоносных пластов. М.: Недра, 1986. – 157 с.
6. Конев Д.А. Исследование нефтяных пластов с помощью индикаторного метода // Современные наукоемкие технологии. 2014. № 7-2. – С. 23 – 26 URL: <http://top-technologies.ru/ru/article/view?id=34283> (дата обращения: 09.08.2021).
7. РД 39-014-7428-235-89. Методическое руководство по технологии проведения индикаторных исследований и интерпретации их результатов для регулирования и контроля процесса заводнения нефтяных залежей / Соколовский Э.В., Чижов С.И., Тренчиков Ю.И. и др. Грозный: СевКавНИПИнефть, 1989. 79 с.
8. Красноперова С.А. Проведение трассерных исследований на месторождениях Удмуртии // Управление техносферой: электрон. журнал, 2020. Т.3. Вып.3. URL: <http://f-ing.udsu.ru/technosphere> С. 338–347. DOI 10.34828/UdSU.2020.75.44.006 (дата обращения: 09.08.2021).

References

1. *Dopolneniya k tekhnologicheskoi skheme razrabotki Gremikhinskogo mestorozhdeniya. ZAO «INNCS»* [Additions to the technological scheme of development of the Gremikhinsky field JSC "IESC"]. Izhevsk, 2017. (in Russian)

2. Khozyainov M.S., Chernokozhev D.A. *Komp'yuternoe modelirovanie fil'tratsii mechenoi zhidkosti s tsel'yu utochneniya geologicheskoi modeli ekspluatiruemogo neftyanogo plasta* [Computer simulation of labeled liquid filtration in order to Refine the geological model of the exploited oil reservoir], *Karotazhnik* [Logger], 2004, no. 3-4 (116-117), pp. 293-294. (in Russian)
3. *Trassernye issledovaniya. Provedenie, interpretatsiya i primenenie rezul'tatov interpretatsii* [Tracer studies. Conducting, interpreting, and applying interpretation results] Available at: <https://www.petroleumengineers.ru/sites/default/files/u4395/trassernye> (accessed: 09.08.2021). (in Russian)
4. *Trassernye issledovaniya kak naibolee informativnyi, prostoi i ekologichnyi metod provedeniya GDIS*. [Tracer studies as the most informative, simple and eco-friendly method of conducting GDIS] Available at: http://www.nftn.ru/blog/trassernye_issledovaniya_kak_naibolee_provedeniya_gdis (accessed: 09.08.2021). (in Russian)
5. Sokolovskii E.V., Solov'ev G.B., Trenchikov Yu.I. *Indikatornye metody izucheniya neftegazonosnykh plastov* [Indicator methods for studying oil and gas reservoirs]. Moscow: Nedra, 1986, 157 p. (in Russian)
6. Konev D.A. *Issledovanie neftyanykh plastov s pomoshch'yu indikatornogo metoda* [Investigation of oil reservoirs using the indicator method] *Sovremennye naukoemkie tekhnologii* [Modern science-intensive technologies], 2014, 7-2. pp. 23 – 26. Available at: <http://top-technologies.ru/ru/article/view?id=34283> (accessed: 02.05.2020). (in Russian)
7. Sokolovskii E.V., Chizhov S.I., Trenchikov Yu.I. [ets] RD 39-014-7428-235-89. *Metodicheskoe rukovodstvo po tekhnologii provedeniya indikatornykh issledovaniy i interpretatsii ikh rezul'tatov dlya regulirovaniya i kontrolya protsessa zavodneniya neftyanykh zalezhei* [Methodological guide to the technology of indicator research and interpretation of their results for regulating and controlling the process of flooding of oil deposits]. Grozny: Sevkavpineft, 1989, 79 p. (in Russian)
8. Krasnoperova S.A. *Provedenie trassernykh issledovaniy na mestorozhdeniyakh Udmurtii* [The conducting tracer studies in the fields of Udmurtia]. *Upravlenie tekhnosferoi: elektron. zhurnal* [Upravlenie tekhnosferoi], 2020, vol. 3, issue 3. Available at: <http://fing.udsu.ru/technosphere> pp. 338–347. DOI 10.34828/UdSU.2020.75.44.006 (accessed: 09.08.2021). (in Russian)

Сведения об авторах

Красноперова Светлана Анатольевна, кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры геологии нефти и газа, Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования «Удмуртский государственный университет»
Россия, 426034, Ижевск, ул. Университетская, 1/7
E-mail: krasnoperova_sve@mail.ru

Authors

S.A. Krasnoperova, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Department of Oil and Gas Geology, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Udmurt state University"
1/7, Universitetskaya st., Izhevsk, 426034, Russian Federation
E-mail: krasnoperova_sve@mail.ru

*Статья поступила в редакцию 17.09.2021
Принята к публикации 09.12.2021
Опубликована 30.12.2021*