

УДК 662.2

МРНТИ 52.47.17

DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108596>

Получена: 09.09.2022.

Одобрена: 02.12.2022.

Опубликована: 27.12.2022.

Научный обзор

Роль индикаторных исследований в определении путей движения пластовых жидкостей в процессе разработки месторождения с трещиноватым коллектором

Б.К. Кодар, К.Б. Асанов, Б.М. Мухтанов, Р.Д. Урымбасаров, А.С. Марданов
Атырауский филиал ТОО «КМГ Инжиниринг», г. Атырау, Казахстан

АННОТАЦИЯ

Высокие темпы добычи нефти с применением заводнения, сложные геолого-физические условия карбонатного коллектора месторождения (трещины, разломы) приводят к прогрессирующему обводнению добываемой продукции.

Месторождение имеет значительные запасы нефти и находится на II стадии разработки, средняя обводнённость составляет более 60%, большинство остаточных запасов переходят в категорию трудноизвлекаемых.

В настоящей статье основное внимание уделено определению связей между блоками и практическому применению результатов индикаторного метода исследования с целью определения емкостных и фильтрационных параметров трещиноватых карбонатных пластов. По результатам данного метода исследования было предложено внедрение дополнительных технологий по улучшению существующей системы разработки.

Ключевые слова: трещиноватые коллекторы, трассерное исследование, индикаторные исследования, проницаемость, межблоковая сообщаемость.

Как цитировать:

Кодар Б.К., Асанов К.Б., Мухтанов Б.М., Урымбасаров Р.Д., Марданов А.С. Роль индикаторных исследований в определении путей движения пластовых жидкостей в процессе разработки месторождения с трещиноватым коллектором // *Вестник нефтегазовой отрасли Казахстана*. 2022. Том 4, №4. С. 45–54. DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108596>

UDC 662.2

CSCSTI 52.47.17

DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108596>

Received: 09.09.2022.

Accepted: 02.12.2022.

Published: 27.12.2022.

Review article

The indicator study role in determining path of motion of formation fluids in the development of a fractured reservoir field

Bakhytgul K. Kodar, Karim B. Assanov, Baqytzhan M. Mukhtanov, Rustem D. Urymbassarov, Altynbek S. Mardanov

Atyrau branch of KMG Engineering LLP, Atyrau, Kazakhstan

ABSTRACT

The high rate of oil production with the use of water flooding, complex geological and physical conditions of the carbonate reservoir of the deposit (fractures, faults) lead to progressive watering of the extracted products.

The field has considerable oil reserves and is at the development stage II, the average water cut is more than 60%, most of the remaining reserves pass into reserves difficult to recover category. This article focuses on determining relations between blocks and practical application of the results of indicator study method in order to determine the porosity and permeability properties of fractured carbonate formations. According to this study method, the introduction of complementary technologies to improve the existing development system was proposed.

Keywords: *fractured reservoirs, tracer study, indicator studies, permeability, inter-block reservoir connectivity.*

To cite this article:

Kodar BK, Assanov KB, Mukhtanov BM, Urymbassarov RD, Mardanov AS. The indicator study role in determining path of motion of formation fluids in the development of a fractured reservoir field. *Kazakhstan journal for oil & gas industry*. 2022;4(4):45–54. DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108596>

ӨОЖ 662.2

ГТАХР 52.47.17

DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108596>

Қабылданды: 09.09.2022.

Мақұлданды: 02.12.2022.

Жарияланды: 27.12.2022.

Ғылыми шолу

Жарықшақты коллекторлы кен орнын игеру барысындағы қойнауқаттағы сұйықтықтардың қозғалу жолын анықтаудағы индикаторлық зерттеулердің рөлі

Б.Қ. Қодар, К.Б. Асанов, Б.М. Мухтанов, Р.Д. Урымбасаров, А.С. Марданов
ҚМГ Инжиниринг Атырау Филиалы, Атырау қаласы, Қазақстан

АННОТАЦИЯ

Су айдау арқылы мұнайды қарқынды өндіру, кен орнының карбонатты коллекторының (жарықшақтар, жарылымдар) күрделі геолого-физикалық жағдайы өндіріліп жатқан өнім құрамындағы судың артып отыруына әкеледі. Кен орнының қоры айтарлықтай және игерудің II-сатысында, орташа сулануы 60%-дан жоғары, көптеген қалдық қорлар қиын өндірілетін категорияға өтіп жатыр. Осы мақалада блоктардың арасындағы байланысты анықтауға және жарықшақты карбонатты қойнауқаттардың сүзгіштік және сақтағыштық параметрлерін анықтау барысында индикаторлық әдіспен зерттеудің нәтижелерін практикада қолдануға аса мән берілді. Аталған әдістің нәтижелері бойынша игерудің қолданыстағы жүйесін жетілдіру үшін қосымша технологияларды енгізу ұсынылды.

Негізгі сөздер: жарылған коллекторлар, трассерлік зерттеу, индикаторлық зерттеулер, өткізгіштік, блокаралық байланыс.

Дәйексөз келтіру үшін:

Қодар Б.Қ., Асанов К.Б., Мухтанов Б.М., Урымбасаров Р.Д., Марданов А.С. Жарықшақты коллекторлы кен орнын игеру барысындағы қойнауқаттағы сұйықтықтардың қозғалу жолын анықтаудағы индикаторлық зерттеулердің рөлі // *Қазақстанның мұнай-газ саласының хабаршысы*. 2022. 4 том, №4. 45–54 б. DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108596>

Введение

Сложное структурное строение месторождения, осложненное взбросами и разломами, является результатом тектонических напряжений, приведших к образованию и значительному распространению трещин в коллекторе. Наличие трещин подтверждается исследованиями кернового материала, внутрискважинными электрическими микроимиджерами.

Структура по кровле КТ-I месторождения представляет собой приразломную массивную карбонатную брахиантиклинальную складку, осложненную двумя локальными вершинами: южной и северной.

Современное представление о разработке месторождения тесно связано с цифровыми гидродинамическими моделями, которые позволили значительно улучшить процесс прогнозирования показателей разработки, изучение процесса фильтрации и механизма воздействия на пласты. Но все же перед инженерами стоит очень много задач в интерпретации и понимании геологических сложностей при разработке месторождений с тяжело извлекаемыми запасами. Например, межблоковая сообщаемость при блоковом строении может значительно изменить стратегию разработки при размещении сетки скважин. При изучении самих разломов учитывают амплитуду сбросов, литологию и происхождение разломов.

Разломы можно определить при помощи сейсмических исследований, гидродинамических исследований скважин или же путем корреляции, изучив условия отложения пород на начальном этапе разработки. Однако оценить, насколько разломы влияют на гидродинамику пластовых жидкостей, не совсем просто. Обычно пути движения пластовых жидкостей и изменение пластового давления можно увидеть по сейсмическим исследованиям 4D. Но чем глубже залежь и чем больше неоднородность геологических отложений, тем сложнее интерпретация сейсмических волн.

Материальный баланс также может дать определенную информацию о сообщаемости блоков с учетом энергетического состояния залежей, но при одинаковой сетке размещения скважин и схожих фильтрационно-емкостных свойств. Однако определенно ответить на этот вопрос затруднительно.

Технология определения путей движения пластовых жидкостей

В определенных случаях закачка индикаторов не только исчерпывающе демонстрирует связь между блоками, но и показывает эффективность заводнения, пути движения закачиваемой воды и связь нагнетательных скважин с добывающими скважинами, высокопроницаемые и низкопроницаемые зоны в исследуемом районе [2].

Основными нужными показателями в трассерных исследованиях являются:

- свойства индикаторного агента;
- объем закачки и концентрация трассера в нагнетательной скважине;
- скорость достижения трассера добывающей скважины;
- концентрация выявляемого индикатора во времени и максимумы концентрации;
- объем добытого трассера в добывающих скважинах;
- режим работы нагнетательных и добывающих скважин [1].

Идеальный индикатор не должен перемешиваться с пластовой жидкостью и породой, нейтрально отражать вектор движения нагнетаемой воды за счет конвекции и адсорбции. Анализируя объем добытого индикатора, необходимо принимать во внимание следующие факторы:

- концентрация индикатора будет падать по мере удаления от нагнетательной скважины, в зависимости от эффективности зонального и послыйного вытеснения;
- при одновременной работе нескольких добывающих и нагнетательных скважин, что является действительным практически для любого случая, действует метод суперпозиции.

Анализ трассерного исследования на карбонатном месторождении на западе Казахстана

В качестве примера можно рассмотреть трассерное исследование, проведенное в 2021 г. на одном из месторождений Западного Казахстана.

Закачка производилась по 4 нагнетательным скважинам (601, 604, 607, 609), по северной и южной частям южного свода, пробы отбирались из скважин 409, 426, 456, 507, 509, 511, 513, 517, 522, 527, 530, 531, 535, 408, 451, 534, 603 (рис. 1).

Всего по добывающим скважинам в сумме было добыто до 1,29% закачанного индикатора в исследуемых добывающих скважинах в течение исследуемого периода (30 дней), подтверждающая существование микротрещин. Для полного понимания и анализа отбор проб должен проводиться намного продолжительнее (больше года) до выявления большей части закачанного индикатора и желательно во всех скважинах одного участка.

Максимальное расстояние, преодоленное индикатором в течение 30 дней, составляет ~4,9 км (с севера к югу исследуемого региона – прямое расстояние между скважинами 604 и 451). Максимальная скорость¹ индикатора составила 3900 м/сут (появление небольшой концентрации закачанного индикатора из скважины 604 в скважину 26 в первые сутки. Расстояние – ~3900 м).

Быстрое достижение добывающей скважины индикатором и небольшой извлеченный объем указывают на множество небольших микротрещин в исследуемом участке.

Движение индикаторов скважин 604 и 607 в противоположных направлениях (с севера на юг и с юга на север) указывает на множество «параллельных» микроканалов.

Индикатор скважины 604 был выявлен во всех исследуемых добывающих скважинах. Относительно быстрый промежуток времени достижения индикаторов добывающих скважин четко указывает на существование сети микротрещин между северной и южной зонами исследования от южного свода. При этом возникает вопрос: по какому определенному пути перемещаются индикаторы, если скважины, расположенные посередине пути (515, 407А, 516, 519, 522), не обводнились, либо обводненность небольшая, а остальные скважины (606, 455, 608, 453) являются нагнетательными, т.е. создают положительное давление в радиусе закачки?

Используя закон Дарси для однородного пласта с усредненными значениями свойств пласта и жидкостей, можно охарактеризовать изменение давления по радиусу дренирования/закачки для добывающей и нагнетательной скважин (рис. 2). Согласно этой диаграмме изменения давления с учетом принятых значе-

ний, на расстояниях больше 200 м градиент изменения давления минимален. При нынешних расстояниях между скважинами в пределах 500–600 м и в присутствии микротрещин вдали от скважин влияние этих скважин снижается значительно. Следовательно, концентрация микротрещин, возможно, расположена в радиусе 200–500 м от нагнетательных скважин 608, 455, 606 и добывающей скважины 517, по направлению с севера на юг, параллельно геологической складке.

Индикатор скважины 607 также подтверждает вышесказанное, но противоположное направление движения жидкостей указывает на множество параллельных трещин в районе указанных выше скважин.

Принимая во внимание глубину залегания пласта и выявление трассеров в добывающих скважинах, определено, что движение трассеров происходит в изменности пласта, и гравитационные силы играют весомую роль (сравнение текущих отборов, потокометрии нагнетательных и добывающих скважин, глубина залегания пласта). По потокометрии можно отметить обводнение только нижних пропластков горизонта КТ-I, несмотря на неравномерную приемистость пластов. Это говорит об относительно сопоставимом значении (соотношении) вертикальной проницаемости с горизонтальной.

Анализируя распределение скоростей движения трассеров, было выявлено, что вектор скоростей сходится с направлением изменности пласта (восточная часть исследуемой зоны – район скважин 517, 606, 455, 608) и углом наклона пластов, подчеркивая значение гравитационных сил в разработке месторождения совместно с трещинами (рис. 2).

В совокупности это свидетельствует о том, что закачка и отбор (процесс разработки) в той или иной степени контролируются направлением и концентрацией трещин в зависимости от расположения скважин.

Заключение

Результаты трассерных исследований предоставили ценную информацию о сложном геологическом строении горизонта, а именно отсутствии полной изолированности тектонических нарушений. Также получена информация о наличии высоко-

¹ Скорость рассчитана по формуле $v = l/t$, где l – расстояние между нагнетательной и добывающей скважиной, м; t – время движения индикатора от нагнетательной к добывающей скважине по одному каналу, сут.

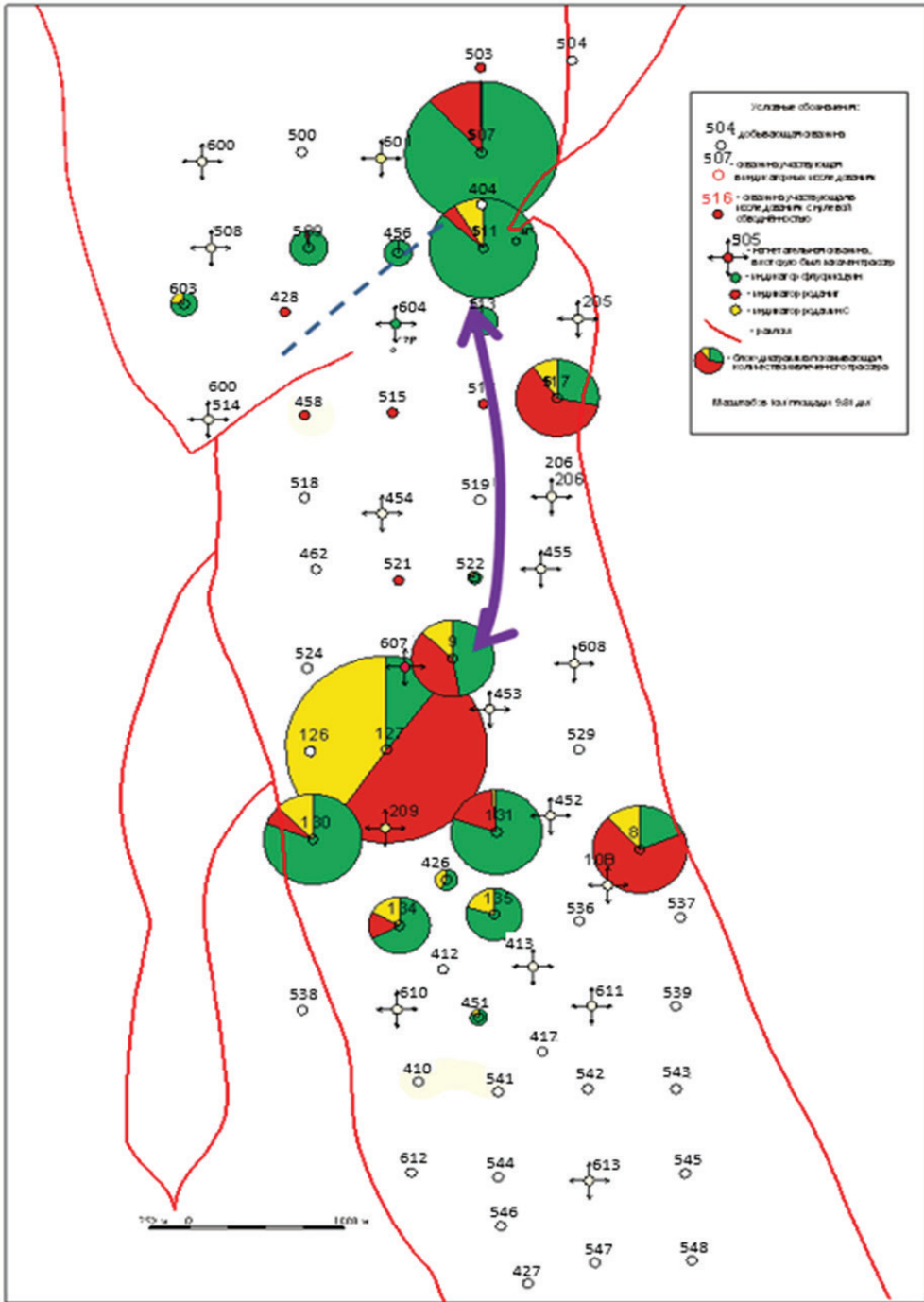
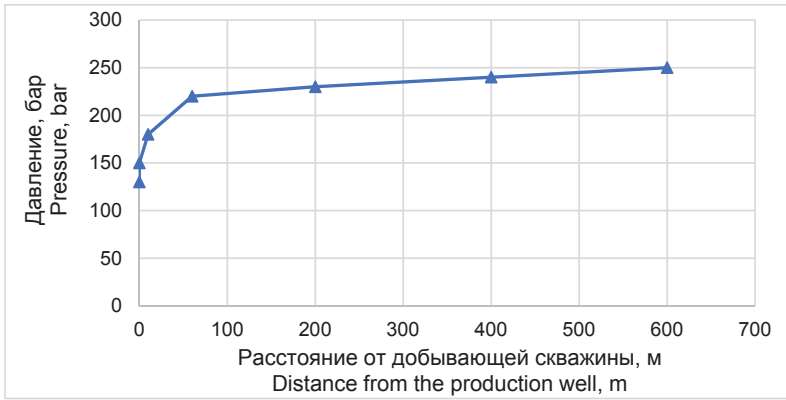
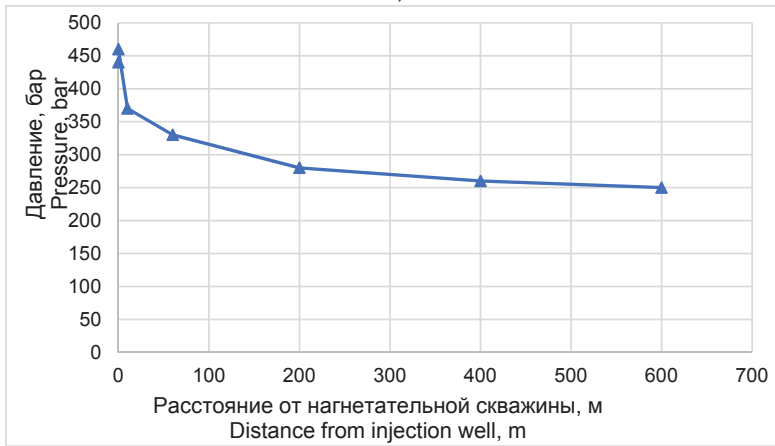


Рисунок 1. Распределение зафиксированных индикаторов по объему
Figure 1. Distribution of fixed indicators by volume



а)



б)

**Рисунок 2. Изменение давления
Figure 2. Change in pressure**

а) по радиусу дренирования / by drainage radius; б) по радиусу нагнетания / by injection radius

проницаемых каналов (трещин) и «суперколлекторов», стремлении закачиваемой воды в основном в искусственные промытые каналы и естественные трещины, не задействуя матрицу породы, что даёт понимание о необходимости улучшения действующей системы разработки, в частности, системы поддержания пластового давления (далее – ППД) и в последующем выбора методов интенсификации добычи.

Из-за прорыва закачиваемой воды не удавалось обеспечивать эффективное ППД и вытеснение нефти. Значительное количество углеводородов остается в блоках, матрицах в виде остаточной нефти. Закачанная в пласт вода продвигается к добывающим скважинам по всей объемной сетке трещин. В качестве альтернативного метода увеличения нефтеотдачи рассматривалась закачка в обводненные пласты полимер-дисперсных систем, которые создали бы благоприятные условия для увеличения коэффициента охвата. Для этого предлагалось циклически закачивать комбинацию с другими реагентами (поверхностно-активными кислотами, кислотами, растворителями и др.).

После анализа проведенных трассерных исследований, который указал на широко распространенную систему трещин и отсутствие эффективного вытеснения за счет быстрых прорывов воды по системе трещин в добывающие скважины, а также

скрининга в подборе метода интенсификации добычи был выбран и внедрен метод нестационарного заводнения. Учитывая, что на данном месторождении фонд нагнетательных скважин не менялся на протяжении последних несколько лет, следствием стало то, что система вскрытых трещин сильно обводнена. Вовлечение в разработку запасов подобных матричных блоков в текущих условиях коллектора возможно при нестационарном заводнении, суть которого заключается в поочередном пуске-остановке нагнетательных скважин при постоянной работе добывающих скважин. В ходе реализации нестационарного заводнения используются результаты анализа трассерных исследований: степень влияния нагнетательных скважин на добывающие скважины, наличие высоко- или низкопроводимых каналов фильтрации, что дает возможность планировать цикл закачки.

Таким образом, трассерное исследование приобретает определяющее значение при разработке месторождений с осложненными взбросами и разломами, коллекторы которых характеризуются матричной системой с низкой проницаемостью, где содержатся запасы углеводородов с трещинами высокой проницаемости, по которым происходит фильтрация жидкости.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределён следующий образом: Кодар Б.К. Урымбасаров Р.Д., Мухтанов Б.М., Асанов К.Б. – сбор, анализ, интерпретация данных исследования концепция исследования, его проведение и редактирование рукописи; Марданов А.С. – общее руководство.

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Authors' contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work. Bakhytgul K. Kodar, Rustem D. Urymbassarov, Baqytzhan M. Mukhtanov, Karim B. Assanov – acquisition, analysis, interpretation of data for the work conception of the work, drafting and revising the work, Altynbek S. Mardanov – general management.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соколовский Э.В., Соловьев Г.Б., Тренчиков Ю.И. Индикаторные методы изучения нефтегазоносных пластов. Москва : Недра, 1986. 157 с.
2. Tayyib D, Al-Qasim A, Kokal S, et al. Overview of Tracer Applications in Oil and Gas Industry. SPE Kuwait Oil & Gas Show and Conference; 2019 Oct 13–16; Mishref, Kuwait. Paper Number: SPE-198157-MS.

REFERENCES

1. Sokolovskiy EV, Solovyev GB, Trenchikov YI. *Indicator methods of studying oil and gas strata*. Moscow: Nedra; 1986. 157 p.
2. Tayyib D, Al-Qasim A, Kokal S, et al. Overview of Tracer Applications in Oil and Gas Industry. SPE Kuwait Oil & Gas Show and Conference; 2019 Oct 13–16; Mishref, Kuwait. Paper Number: SPE-198157-MS.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

***Кодар Бакытгуль Картпамбеткызы**

e-mail: b.kodar@kmge.kz.

Асанов Карим Балхашевич

e-mail: k.asanov@kmge.kz.

Мухтанов Бакытжан Маратович

e-mail: b.mukhtanov@kmge.kz.

Урымбасаров Рустем Джанбулатович

e-mail: r.urymbasarov@kmge.kz.

Марданов Алтынбек Сүлейменұлы

e-mail: a.mardanov@kmge.kz.

AUTHORS' INFO

***Bakhytgul K. Kodar**

e-mail: b.kodar@kmge.kz.

Karim B. Assanov

e-mail: k.asanov@kmge.kz.

Baqytzhan M. Mukhtanov

e-mail: b.mukhtanov@kmge.kz.

Rustem D. Urymbassarov

e-mail: r.urymbasarov@kmge.kz.

Altynbek S. Mardanov

e-mail: a.mardanov@kmge.kz.

*Автор, ответственный за переписку/Corresponding Author