ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ
ЖАРАТЫЛЫСТАНУ ҒЫЛЫМДАРЫ
NATURAL SCIENCES

CENTRAL ASIAN SCIENTIFIC JOURNAL
ISSN 3135-3061
2026. №4 (32), Том 2. С. 490–495
DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.24279111
Сайт журнала: https://cajournal.kz

УДК 556.3:551.435.8(574.3)

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОДЗЕМНЫХ ВОД КАРБОНАТНЫХ СТРУКТУР ЦЕНТРАЛЬНОГО КАЗАХСТАНА (НА ПРИМЕРЕ ЖАНАЙСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ)

Е.А. Абдулвахап
Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.Сатпаева, Алматы, Казахстан

Абдулвахап Еділ Алмасұлы — Студент 2 курса, Кафедра Гидрогеология, инженерная и нефтегазовая геология, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.Сатпаева, Алматы, Казахстан.

© Е.А. Абдулвахап, 2026

Аннотация: В статье рассмотрены гидрогеологические условия карбонатных и карбонатно-терригенных толщ Жанайской структуры (Джезказганский район, Центральный Казахстан) и закономерности формирования химического состава подземных вод. Показано, что водовмещающие породы нижнекаменноугольного карбонатного комплекса, перекрывающие их и подстилающие терригенные отложения образуют единую трещинно-карстово-пластовую систему, режим и состав вод которой определяются тектонической нарушенностью, литологией цемента пород и аридным климатом региона. Выделены основные водоносные комплексы, охарактеризованы условия питания, движения и разгрузки, а также гидрогеохимическая зональность. Сформулированы рекомендации по организации гидрогеологического мониторинга в условиях горнодобывающего района.

Ключевые слова: подземные воды, карбонатные породы, трещинно-карстовые воды, Жанайская антиклиналь, Джезказган, Центральный Казахстан, гидрогеохимия.

Введение

Центральный Казахстан относится к регионам с дефицитом поверхностных вод, поэтому подземные воды здесь служат основным источником хозяйственно-питьевого и технического водоснабжения. Одновременно район Джезказгана — один из крупнейших в мире центров добычи меди, где подземные воды выступают и как ресурс, и как осложняющий фактор горных работ: водопритоки в выработки, изменение уровенного режима и загрязнение горизонтов требуют надёжной гидрогеологической основы.

Карбонатные породы играют в гидрогеологии региона особую роль. Они растворимы, поэтому в них формируются трещинно-карстовые коллекторы с резко неоднородной проницаемостью; в то же время карбонатный материал в цементе терригенных пород влияет на кислотно-щелочные условия и состав вод. Закономерности циркуляции в карбонатных массивах хорошо изучены на примере карстовых регионов мира, однако для структур Центрального Казахстана, перекрытых терригенными и пестроцветными толщами в условиях аридного климата, они требуют отдельного анализа.

Жанайская антиклиналь — структура второго порядка в северной части Джезказган-Сарысуйской мульды, которая совместно с Кенгирской антиклиналью определяет строение Джезказганского рудного поля. Её сводовые и крыльевые части сложены карбонатно-

терригенными породами, что делает её удобным объектом для изучения подземных вод карбонатных структур региона.

1. Материалы и методы

Исследование основано на анализе опубликованных геологических и литологических материалов по Джезказганскому району, региональных гидрогеологических обобщений и методических работ по гидрогеологии карстовых и трещиноватых коллекторов. Для интерпретации химического состава вод использованы стандартные подходы гидрогеохимии: классификация по преобладающим ионам (формула Курлова), расчёт минерализации и индексов насыщения по отношению к кальциту и гипсу.

Количественные показатели конкретных скважин и водопунктов (дебиты, уровни, анализы) в тексте помечены как: их необходимо взять из фондовых отчётов, результатов опытно-фильтрационных работ и протоколов опробования, с которыми работает автор.



Рисунок 1 - Административное расположение района работ

2. Геолого-структурная позиция

Джезказганская группа месторождений расположена в северной части Джезказган-Сарысуйской мульды — герцинской структуры, наложенной на раннекаледонское складчатое основание. Разрез мульды начинается нижнедевонскими вулканогенными породами, переслаивающимися с красноцветными песчаниками. Выше залегают терригенные и карбонатные отложения: красноцветные песчаники и конгломераты среднего девона, а также окремнённые известняки, песчаники и мергели нижнего карбона суммарной мощностью около 1500 м. Согласно на них залегает продуктивная джезказганская свита средне-верхнекаменноугольного возраста мощностью около 700 м, перекрытая нижнепермскими песчаниками, аргиллитами, известняками и мергелями; местами палеозой перекрыт палеоген-неогеновым чехлом песков, глин и галечников.

В северной части мульды выделяются две антиклинали второго порядка — Жанайская и Кенгирская, разделённые Джезказганской синклиналью. Положительные структуры представляют собой складки сундучного типа, вытянутые в северо-восточном направлении. В сводах шириной 900–1300 м породы залегают почти горизонтально, на крыльях углы падения возрастают до 8–25°, а на флексурных перегибах — до 50°; крылья осложнены разрывными нарушениями с амплитудами смещения порядка 10–30 м. Интенсивность дислокаций с глубиной затухает.

Гидрогеологически существенны три особенности строения. Во-первых, карбонатные породы (известняки и мергели карбона и перми) образуют самостоятельные водовмещающие горизонты. Во-вторых, цемент песчаников джезказганской свиты содержит значительное количество карбонатного материала, что определяет щёлочно-карбонатные условия в терригенных коллекторах. В-третьих, флексуры и разрывные нарушения создают зоны повышенной трещиноватости, которые служат каналами вертикальной связи между горизонтами. В приповерхностной зоне рудные тела затронуты окислением, мощность подзон окисления и выщелачивания обычно составляет 8–12 м, а вдоль разломов окисленные минералы прослеживаются значительно глубже, что указывает на проникновение кислородсодержащих вод по тектоническим зонам.

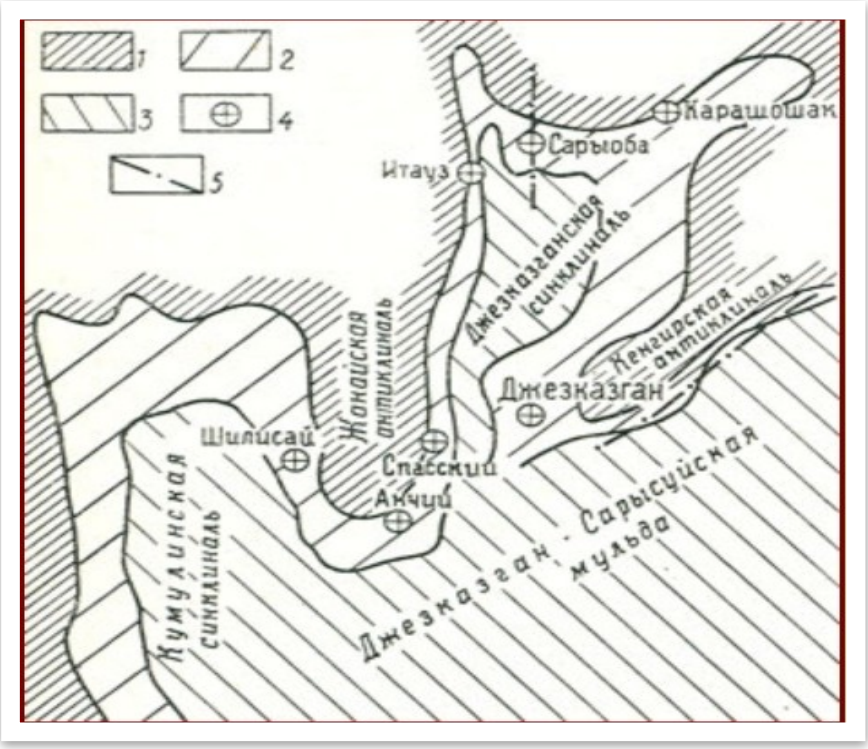


Рисунок 2 - Структурная схема Джезказганского района (по Б. Журбицкому)

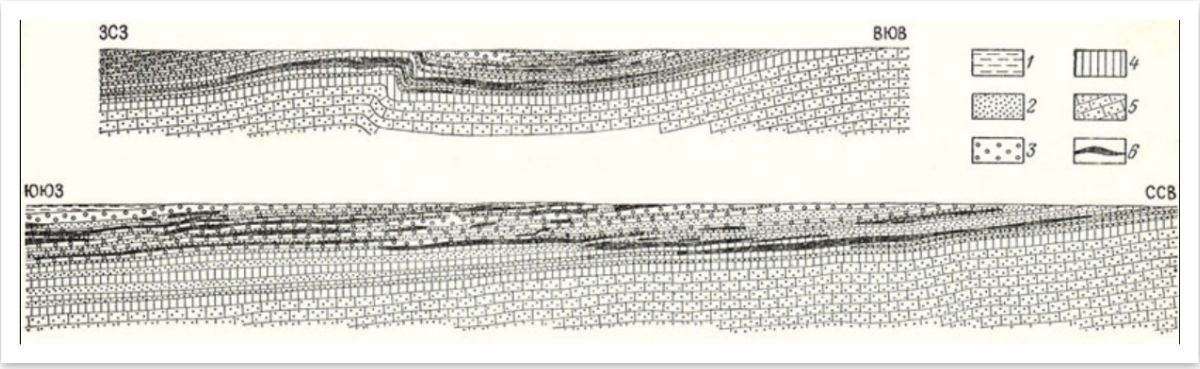


Рисунок 3 - Схематические геологические разрезы

3. Гидрогеологические условия

В разрезе Жанайской структуры по литологии и типу коллектора выделяются четыре гидрогеологических подразделения (табл. 1). Характеристика построена на основе геологического разреза и общих закономерностей циркуляции вод в трещиноватых и карбонатных породах; фактические параметры подлежат уточнению по данным опытно-фильтрационных работ.

Климат региона резко континентальный и аридный, поэтому доля инфильтрационного питания в балансе невелика и приурочена к периоду снеготаяния и редких ливней. Основные площади питания — выходы карбонатных и терригенных пород на поверхность в сводовых

частях антиклиналей, а также зоны тектонической трещиноватости, где инфильтрация затруднена меньше.

В сводах антиклиналей, где породы залегают горизонтально, преобладает латеральная фильтрация по пластам; на крыльях и флексурах поток получает вертикальную составляющую вдоль трещин и нарушений. Проницаемость карбонатного комплекса анизотропна: максимальные значения коэффициента фильтрации приурочены к зонам растворения по трещинам, тогда как ненарушенные участки практически водоупорны. Отсюда следует, что эффективность разведочных скважин определяется не только их глубиной, но и попаданием в проводящую трещинную зону.

Разгрузка происходит в понижениях рельефа (долина р. Кара-Кенгир и её притоки), через испарение в зоне неглубокого залегания вод и в горные выработки, где образуются депрессионные воронки. В условиях подземной добычи техногенная разгрузка может превышать естественную, что приводит к перестройке уровенной поверхности.

Разрывные нарушения и флексуры обеспечивают гидравлическую связь между карбонатным комплексом, джезказганской свитой и пермскими отложениями. Это определяет необходимость рассматривать систему как единую, а не как набор изолированных горизонтов.

4. Гидрогеохимическая характеристика

Химический состав подземных вод в карбонатных структурах формируется несколькими процессами, которые различаются по глубине и степени изоляции горизонта.

1. Растворение карбонатов в зоне активного водообмена: известняки и карбонатный цемент песчаников переходят в раствор по реакции $CaCO3 + CO2 + H2O \rightleftarrows Ca^{2+} + 2HCO3^{-}$. Для верхней зоны характерны гидрокарбонатные кальциевые и кальциево-магниевые воды с минерализацией, как правило, ниже, чем в нижележащих горизонтах.
2. Растворение сульфатных и галогенных минералов (гипс, галит) в пермских отложениях и в зонах замедленного водообмена: происходит рост минерализации, смена гидрокарбонатного состава на сульфатный и хлоридный, увеличение доли натрия.
3. Окисление сульфидов в зоне рудных тел и вдоль разломов: приводит к поступлению сульфат-иона и тяжёлых металлов; присутствие карбонатного цемента нейтрализует кислотность и осаждает медь из растворов.
4. Испарительное концентрирование в аридных условиях при неглубоком залегании вод.

В результате формируется вертикальная и латеральная гидрогеохимическая зональность: от слабо- и умеренно минерализованных гидрокарбонатных вод сводовых частей, где сильнее питание, к более минерализованным сульфатно-хлоридным водам крыльев, синклинальных частей и глубоких горизонтов. Такая зональность типична для артезианских бассейнов аридных областей.

Для оценки равновесия вод с карбонатной системой используется индекс насыщения $SI = \lg(IAP/Ks)$: значения, близкие к нулю, указывают на равновесие с кальцитом, положительные — на пересыщение и возможное осаждение карбоната, отрицательные — на способность воды продолжать растворение пород и развивать карст.

5. Обсуждение

Главный вывод анализа состоит в том, что структурный фактор доминирует над литологическим. Одни и те же известняки способны быть и практически безводными, и высокодебитными в зависимости от плотности и раскрытости трещин; поэтому геометрия складок и разломов Жанайской структуры — основной ключ к прогнозу обводнённости. Аналогичный вывод сделан для карстовых систем разных регионов, где неоднородность проницаемости на несколько порядков — типичное свойство карбонатных коллекторов.

Вторая закономерность связана с аридным климатом. Ограниченное питание делает ресурсы карбонатных структур слабо возобновляемыми, поэтому длительный водоотбор или дренаж горных выработок приводит к срабатыванию статических запасов и к подтягиванию

более минерализованных вод из глубоких горизонтов. Для района горных работ это означает риск ухудшения качества вод в эксплуатируемых водозаборах.

Третья закономерность — взаимодействие природных и техногенных процессов. Вскрытие сульфидных руд горными работами усиливает окисление и поступление сульфатов и металлов в подземные воды, причём карбонатные породы выполняют функцию природного геохимического барьера. Его ёмкость конечна, и потому его состояние необходимо контролировать.

Рекомендации по мониторингу.

- создать наблюдательную сеть, раздельно опробующую карбонатный комплекс, джезказганскую свиту и пермские отложения, с точками в сводах и на крыльях антиклиналей;
- проводить измерения уровней не реже ежемесячно, а химический состав и индексы насыщения определять не реже двух раз в год (весеннее половодье и межень);
- закладывать скважины в зонах флексур и разломов, а часть — вне зон нарушений, для оценки контрастов проницаемости;
- применять гидрогеохимические и изотопные трассеры для оценки времени водообмена и источников питания.

Ограничение работы: выводы получены на основе региональных обобщений и опубликованных геологических данных; их количественная проверка требует данных конкретных скважин.

Выводы

1. Жанайская структура — часть Джезказган-Сарысуйской мульды; её разрез включает нижнекаменноугольный карбонатный комплекс, джезказганскую свиту, пермские и кайнозойские отложения, образующие единую гидравлически связанную систему.
2. Основной тип коллектора карбонатного комплекса — трещинно-карстовый; проницаемость анизотропна и определяется тектонической нарушенностью (флексуры, разломы).
3. Питание подземных вод ограничено аридным климатом и приурочено к выходам пород и зонам трещиноватости; разгрузка идёт в долину р. Кара-Кенгир, испарением и в горные выработки.
4. Состав вод определяется растворением карбонатов, растворением сульфатов и галита, окислением сульфидов и испарительным концентрированием; формируется зональность от гидрокарбонатных вод сводов к сульфатно-хлоридным водам глубоких горизонтов.
5. Карбонатный цемент и карбонатные породы служат геохимическим барьером для металлов; для района горных работ необходим мониторинг, раздельный по водоносным комплексам.
6. Дальнейшие исследования следует направить на количественную оценку фильтрационных параметров по опытным работам и на моделирование влияния водоотлива на уровенный режим.

Список литературы:

1. Дружинин И.П. Литология карбоновых отложений Джезказганской впадины. М.: Наука, 1973. 188 с. (Труды ГИН АН СССР; вып. 222).
2. Рудные месторождения СССР: в 3 т. / под ред. В.И. Смирнова. М.: Недра, 1978.
3. Нуралин Н.Н., Сатпаева Т.А., Сейфуллин С.Ш. и др. Джезказганское месторождение // Проблемы геологии Средней Азии и Казахстана. М.: Наука, 1967. С. 133–142.
4. Есенов Ш.Е., Сейфуллин С.Ш., Копяткевич Л.В. и др. Геометризация как важный метод детальных исследований рудных полей (на примере Джезказганского месторождения) // Изв. АН КазССР. Сер. геол. 1971. № 1. С. 1–42.
5. Климентов П.П., Богданов Г.Я. Общая гидрогеология. М.: Недра, 1977.
6. Шварцев С.Л. Общая гидрогеология. М.: Недра, 1996.
7. Крайнов С.Р., Рыженко Б.Н., Швец В.М. Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты. М.: Наука, 2004.

© Central Asian Scientific Journal, 2026

8. Ford D., Williams P. Karst Hydrogeology and Geomorphology. Chichester: Wiley, 2007. 562 p.
9. Bakalowicz M. Karst groundwater: a challenge for new resources // Hydrogeology Journal. 2005. Vol. 13. P. 148–160.
10. Goldscheider N., Drew D. (eds.) Methods in Karst Hydrogeology. London: Taylor & Francis, 2007. 264 p.
11. Hartmann A., Goldscheider N., Wagener T., Lange J., Weiler M. Karst water resources in a changing world: review of hydrological modeling approaches // Reviews of Geophysics. 2014. Vol. 52. P. 218–242.
12. Palmer A.N. Cave Geology. Dayton: Cave Books, 2007.
13. Кирюхин В.А., Коротков А.И., Шварцев С.Л. Гидрогеохимия. М.: Недра, 1993.
14. Щеточкин В.Н., Кисляков Я.М. и др. Джезказган с позиций пластово-эпигенетического рудообразования // Редкометально-урановое рудообразование в осадочных породах. М.: Наука, 1995. С. 177–200.
15. Hem J.D. Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water. U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2254. 1985.

© Central Asian Scientific Journal, 2026