

СОСТОЯНИЕ КАРБОНАТНО-КАЛЬЦИЕВОГО РАВНОВЕСИЯ КАЗАХСТАНСКОЙ ЧАСТИ БАССЕЙНА РЕКИ ЕРТИСС.М. Романова^{1*}, Е.Г. Крупа^{1,2}, А.С. Серикова¹¹РГП на ПХВ «Институт зоологии» КН МНВО РК, Алматы, Казахстан²ТОО «Казахстанское Агентство Прикладной экологии», Алматы, Казахстан

E-mail: sofiyarom@mail.ru

Приведены материалы собственных исследований карбонатно-кальциевого равновесия в казахстанской части бассейна р. Ертис, проведенных в июле 2023 г. Установлено, что реки и озера Ертисского бассейна различаются по состоянию карбонатно-кальциевого равновесия. Это различие обусловлено рядом факторов: карбонатной щелочностью, общей минерализацией, величиной рН, температурой воды, которые в свою очередь зависят от физико-географических условий региона. Реки Кара Ертис, его притоки и сам Ертис на всех участках имеют воду ненасыщенную карбонатом кальция, содержащую агрессивный CO_2 в концентрациях (0,02...5,50 мг/дм³), не представляющих опасности для бетонных сооружений на портландцементе. Величина пересыщения воды CaCO_3 в реках колеблется в пределах 0,03...0,92. В обособленных озерах Орловское, Курколь и Ески Ертис отмечалось превышение основных показателей равновесия по сравнению с реками, вода в них становится пересыщенной карбонатом кальция в среднем в 1,16...5,82 раза. Вода озера накопителя сточных вод Балкылдак не содержит агрессивный CO_2 , однако по содержанию нормируемых ионов магния, хлоридных и сульфатных ионов вода проявляет агрессивное действие на цементный камень гидротехнических сооружений разной степени.

Ключевые слова: карбонатное равновесие, насыщенность воды карбонатом кальция, ионный состав, величина рН, диоксид углерода, гидрохимия, экология.

Поступила: 19.02.24

DOI: 10.54668/2789-6323-2024-114-3-71-86

ВВЕДЕНИЕ

Из числа подвижных равновесий между природными водами, газами и твердыми веществами важнейшим является карбонатно-кальциевое. Состоянием этого равновесия определяется ряд процессов, представляющих теоретический и практический интерес для гидрохимии, океанологии, гидробиологии, гидрогеологии, галургии и других наук, прямо или косвенно связанных с использованием воды.

Карбонатно-кальциевое равновесие хорошо изучено для морских и океанических вод (Dickson A.G. et al., 2007; Dabrowski Wojciech et al., 2010; Матвеева Н.П., Тарасов М.Н., 1974) и в меньшей степени для рек, водохранилищ и озер, особенно для водоемов аридной зоны (Никаноров А.М., 2015). Это связано с большим разнообразием морфометрических характеристик рек и озер, непостоянством химического состава воды в течение года по

сравнению с морской и океанической водой, что создает определенные трудности при исследовании карбонатной системы.

И тем не менее при гидрохимических исследованиях всестороннее изучение состояния карбонатно-кальциевого равновесия в природных водах является обязательным в настоящее время, поскольку вносит коррективы, например, в расчетах прогнозирования ионного и солевого состава вод при создании крупных водохранилищ в засушливой зоне (Достай Ж.Д. и др., 2012); прогнозирования коррозионных свойств природной воды в системах водоснабжения (Dabrowski W. et al., 2010); исследовании сорбции образовавшимися в воде кристаллами карбоната кальция микроэлементов (Алекин, Моричева, 1960; Попова Т.П., 1961), в том числе тяжелых металлов (Dabrowski A. et al., 2004; Кахраманов Н.Т., 2013; Годымчук А.Ю., 2003), биогенных элементов и

органических веществ (Климов Е.С., 2011; Романова С.М., 2012) и как следствие этого самоочищающей способности природных вод от загрязняющих веществ (Николаева Е.А., Громова О.Б., 2021); образовании накипи в технических оборудовании (Чичиров А.А. и др., 2010; Казимиров Е.К., Казимиров О.Е., 2017), характеристики воздействия природной воды на строительные сооружения из бетона (Мигунов В.Н., 2013); суффозионных процессов (Хоменко В.П., 2006). Состоянием карбонатно-кальциевого равновесия в значительной мере определяется интенсивность и направление биологических процессов в водоемах, процессов солеобразования в системе «природная вода-почва» (Минкина Т.М. и др., 2012), а также разнообразные условия растворения или осаждения карбонатов кальция в воде.

Растворимость CaCO_3 в воде может быть количественно учтена для любых условий путем расчета, но кинетика этого процесса весьма сложна из-за склонности CaCO_3 образовывать достаточно устойчивые пересыщенные растворы (Алекин О.А., Моричева Н.П., 1964; Минкина Т.М. и др., 2012).

Карбонатная система речных вод непосредственным образом связана с химическим выветриванием пород, слагающих бассейн реки, поскольку главным продуктом химического выветривания являются гидрокарбонаты кальция и магния. Появление этих продуктов в речных водах обусловлено растворением карбонатных минералов, находящихся в ложе реки (Bernier et al., 1983; Драйвер, 1985), а также химическим выветриванием глинистых минералов (Mortatti and Probst, 2003). Есть мнение, что процесс выветривания минералов через органические комплексоны (например, гумусовые вещества, многоосновные органические кислоты) с последующей их минерализацией объясняет существование гидрокарбонатных вод вне зависимости от минералогического состава водовмещающих пород (Bernier and Rao, 1997).

Геологическое строение бассейна реки Ертис довольно сложное, регион относится к южной части Западно-Сибирской плиты, сложенной породами осадочного, магматического и метаморфического генезиса от допалеозойских до современных возрастов,

а также к северо-восточной части Казахского мелкосопочника (Сарыарки) (Инсебаев Т.А. и др., 2007; Геологическое строение., 2000). Длительный континентальный период мезозоя создал благоприятные условия для развития процессов денудации и накопления в этой связи толщи коры выветривания. Рыхлые накопления кайнозоя в этой части области ограничены. Наибольшие области их развития приурочены к Приертиской равнине, где они совместно с отложениями мезозоя покрывают древний палеозойский фундамент. В формировании состава воды немаловажную роль играет и почвенный покров водосборной площади Ертиса и его притоков. Так, в Павлодарской области повсеместно распространены солонцы и солончаки, которые встречаются в комплексах с другими почвами, что объясняется близким залеганием третичных соленосных глин, сухостью климата и маловодностью. Они изобилуют на окраинах мелкосопочника, в котловинах соленых озер, на равнинах и в долинах рек (Инсебаев Т.А. и др., 2007).

Панин М.С. и Гельдымамедова Э.А. приводят данные, описывающие характерные физико-химические свойства каштановых почв, глубоко вскипающих маломощных и среднемощных легкосуглинистых и супесчаных, распространенных в г. Павлодар и области. Так, в этих почвах содержание гумуса 1,26...1,97 %, ила – 7,02...12,24 %, сумма фракции физической глины – 10,58...20,58 %, содержание карбонатов – 1,34...4,66 %, рН водной вытяжки 6,66...6,94. (Панин М.С., Гельдымамедова Э.А., 2006).

Важной характеристикой карбонатно-кальциевого равновесия является степень насыщенности воды CaCO_3 . Отрицательные ее значения указывают на склонность CaCO_3 к растворению, а положительные значения – к склонности карбоната кальция к осаждению. Причем карбонат кальция может осаждаться в разных формах: кальцит, арагонит, ватерит, монокарбонат кальция и гексакарбонат кальция, аморфный CaCO_3 . Так, аморфный CaCO_3 может осаждаться при сильном пересыщении в интервале значений рН от 6,5 до 9,5 (Roques H., 1996). Продукты растворения неустойчивой формы монокарбоната кальция могут различаться по составу, что необходимо

учитывать при исследовании карбонатного равновесия (Benefield L.D. et al., 1982).

На основании исследований карбонатного равновесия в поверхностных водах (Янатьева О.К., 1954; Эленбогена Р.Н., 1970; Матвеева Н.П., 1972; Матвеева, Тарасов, 1974; Романова, Кунанбаева, 2005; Федорова Т.К., 1968) установлено, что состояние насыщенности или пересыщенности природных вод CaCO_3 свидетельствует лишь о возможности образования осадка, т. е. далеко не всегда из пересыщенных растворов происходит выпадение осадка карбоната кальция. Осаждение или растворение CaCO_3 , связанное с удалением или поступлением ионов Ca^{2+} , HCO_3^- и CO_3^{2-} обусловлено, естественно, состоянием карбонатного равновесия, и приводит к изменению ионного состава природной воды, а именно класса, группы и даже типа воды.

Изучение карбонатно-кальциевого равновесия в речных водах СНГ показало, что насыщенность вод CaCO_3 в реках, текущих из влажных областей в засушливые, по мере аридизации климата увеличивается, и в теплый период они могут быть в 5...10 раз пересыщены CaCO_3 (Крюков, Шульц, 1955; Алекин, Моричева, 1955, 1957, 1959; Лазарев, 1957; Соколенко и др., 1981; Романова, 2012). Левченко В.М. и Ешимбаев Д. установили, что из пересыщенных до трех раз вод низовьев и дельты р. Амударьи CaCO_3 выпадает в осадок и используется водными организмами (Левченко В.М., Ешимбаев Д., 1969).

Ибрагимов А.И., исследуя состояние равновесия в бассейне р. Сырдарьи, установил значительные величины пересыщения (3,4...19,5) воды карбонатом кальция, особенно в воде притоков (Ибрагимов А.И. и др., 1973). Аналогичные выводы были получены и другими авторами на реках Иле (Романова С.М., 2003), Тобол (Ибрагимова М.А. и др., 1974). В воде оросительных систем в низовье р. Иле было отмечено выпадение хемогенного карбоната кальция в форме кальцита из пересыщенных вод в 35...40 раз (Романова С.М., 2003). Алекин О.А. и Моричева Н.П. (Алекин О.А., Моричева Н.П., 1961) на основании обобщения большого числа данных отмечали, что во вне паводковый период теплого времени года большинство рек центральной и южной части европейской территории России

(Волга, Дон, Кама, Обь, Енисей) при содержании ионов HCO_3^- в воде более 120 мг/дм³ и значении $\text{pH} > 8,0$ пересыщены в отношении CaCO_3 , однако выпадения в осадок карбоната кальция не наблюдалось. С другой стороны, реки с содержанием в воде $\text{HCO}_3^- < 60$ мг/дм³ при любых значениях pH , будут практически всегда не насыщены CaCO_3 .

Dabrowski W. с соавторами (2010) исследовал карбонатное равновесие речных вод Польши и на примере р. Раба установили, что концентрации агрессивного CO_2 были самыми высокими в речной воде, чему соответствовали отрицательные значения величины пересыщения карбонатом кальция. Ими не выявлена простая корреляция между CO_2 агр и величиной пересыщения, возможно, по причине низкой точности определения CO_2 . В связи с этим авторы рекомендуют использовать расчетные данные по концентрации диоксида углерода.

Сведений по изучению карбонатно-кальциевого равновесия в р. Ертис весьма ограничено. Отдельные вопросы этого равновесия в воде р. Ертис, в числе других рек СНГ, были рассмотрены в работах Н.М. Страхова, О.А. Алекина, Н.П. Моричевой. Впервые состояние карбонатно-кальциевого равновесия в воде рек Ертисского бассейна было детально исследовано в 1973...1975 гг. (Пильгук В.Я., 1975), продолжено в 1979...1982 гг. (Ибрагимова М.А. и др., 1986; Амиргалиев Н.А., 1981), разные годы с 1985...1994, 2005, 2012 гг. (Романова С.М., 2005, 2008, 2012; Достай Ж.Д. и др., 2012) на р. Ертис и канале им. Сатпаева (Ертис-Караганда). Так, М.А. Ибрагимовой с соавторами было установлено, что вода р. Ертис в верховье и среднем течении в многолетнем цикле (1979...1982 гг.) несколько отличалась по состоянию равновесия в разные сезоны года, содержала агрессивный диоксид углерода от 0,5 до 9,0 мг/дм³, была ненасыщенная карбонатом кальция, при этом величина пересыщения была постоянно меньше единицы.

С 2012 г. до настоящего времени исследование карбонатно-кальциевого равновесия в Ертисском бассейне в пределах Казахстанской части не проводилось. В июле 2023 г. нами начаты комплексные физико-химические исследования водных объектов казахстанской части бассейна р. Ертис.

Цель работы – изучить состояние карбонатного равновесия воды основных объектов бассейна Ертиса (р. Кара Ертис и его притоки, р. Ертис по его течению, пойменные озера Курколь, Орловское, Старица и озеро-накопитель сточных вод Балкылдак), выявить агрессивные свойства воды и возможность осаждения карбоната кальция в речной и озерной воде. Полученные данные можно учитывать при расчете водно-солевого баланса, выноса солей реками, разработке рекомендаций по предотвращению накипеобразования, разрушения гидротехнических сооружений на портландцементе, а также для учета сложных взаимосвязей между абиотическими и биотическими показателями гетерогенной природной экосистемы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

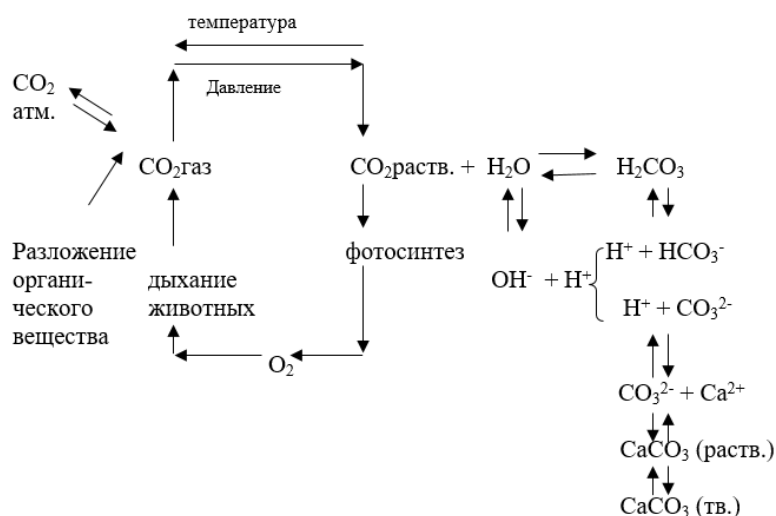
Сбор материала проводили в июле 2023 г. Было обследовано 6 водотоков, 3 озера и 1 озеро-накопитель сточных вод. Для гидрохимического анализа отобрано 44 пробы воды, в том числе 7 проб левобережных (р. Кендирлик, р. Жарлы) и правобережных (р. Калжыр, р. Куршим) притоках, 5 – в Кара Ертис, 22 – в реке Иртыш на территории Павлодарской и Абайской областей, 10 проб – в пойменных озерах Орловское, Курколь, Ески Ертис (Старица) и накопителе Балкылдак. Координатная привязка станций выполне-

на с помощью GPS-навигатора GarminTrex. Пробы воды отобраны в пределах восточных долгот 47.620...51.825 и северных широт 84.936...77.185 (рисунки 1,2).

В работе применялись полевые, лабораторные и расчетные методы анализа. Отбор проб воды, их хранение, транспортировка и подготовка к анализу проводилась в соответствии с рекомендациями Гидрохимического института и утвержденными ГОСТ РК Р 51593-2003 (Семенов А.Д., 1977; ГОСТ РК Р 51593 – 2003).

Химический анализ на содержание главных ионов проводился из неконсервированных проб по общепринятым в гидрохимической практике методам согласно межгосударственным стандартам, указанным в ГОСТ РК Р 51232-2003 (СТ РК ГОСТ Р 51232 – 2003; Семенов А.Д., 1977). Величина pH измерялась с помощью цифрового pH-метра AMTAST. Определение концентрации Ca^{2+} ионов проведено комплексонометрическим методом с индикатором мурексидом; ионов HCO_3^- и CO_3^{2-} методом объемного прямого титрования с индикаторами фенолфталеином и метилоранжем.

Согласно современным представлениям, схема карбонатно-кальциевого равновесия имеет следующий вид* (Никаноров А.М., 2015).



*Линия, соответствующая давлению, направлена по часовой стрелке, температуре – против часовой стрелки.

Как видно из схемы, основными компонентами карбонатного равновесия являются: CO_2 , H_2CO_3 , HCO_3^- , CO_3^{2-} , Ca^{2+} , H^+ , взаимос-

вязанные между собой отдельными равновесиями. Каждое из отдельных равновесий с количественной стороны характеризуется

соответствующей константой, определяющей соотношение между концентрациями компонентов при данных условиях. Ионная сила раствора рассчитывалась как полу сумма произведений концентрации ионов в ммоль/дм³ эквивалент на квадрат заряда главных ионов, а величины коэффициентов активности ионов Ca²⁺, HCO₃⁻ и CO₃²⁻ были вычислены по формуле, приводимой в теории сильных электролитов (Еремин В.В. и др., 2019). Расчет содержания свободного, равновесного и агрессивного диоксида углерода, величины произведения активностей ионов Ca²⁺ и CO₃²⁻, величины пересыщения воды карбонатом

кальция произведен по методике и рекомендациям О.А. Алекина и Н.П. Моричевой (Алекин О.А., Моричева Н.П., 1965) и автора (Романова С.М., Пономаренко О.И., 2015) без учета образования ионных пар и комплексов.

В ходе анализа процент ошибок не превышал допустимых значений их погрешности. Все пробы воды анализировались в трехкратной повторности. Для получения достоверных выводов применялась математическая обработка (Чарыков А.К., 1984). Статистическую обработку результатов проводили с использованием Microsoft Excel 2010.

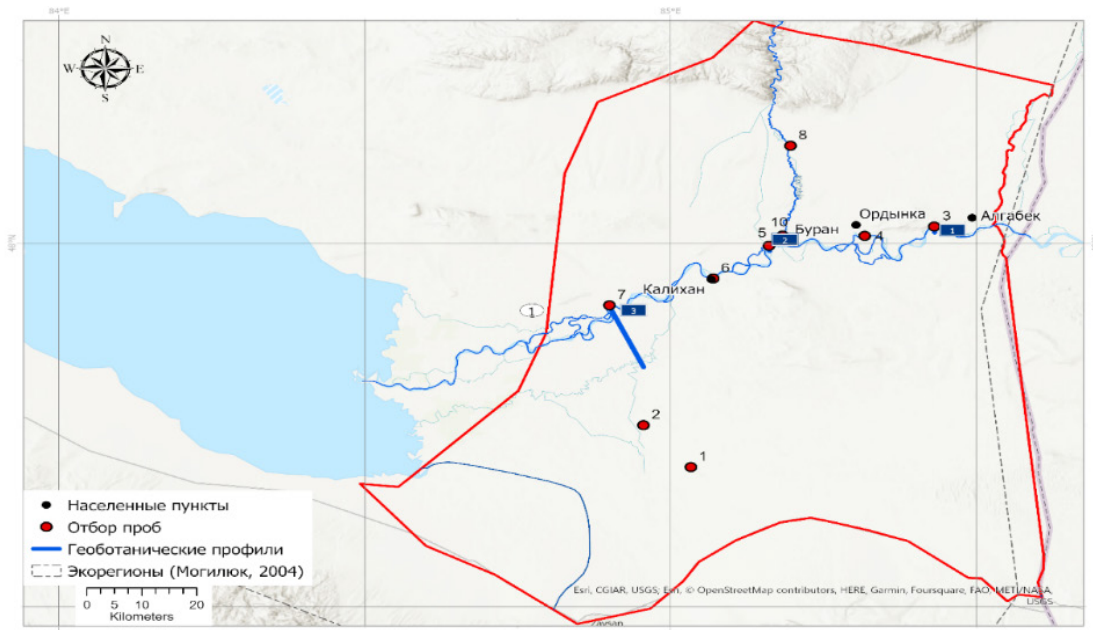


Рис 1. Карта бассейна р. Кара Ертыс с пунктами отбора проб воды

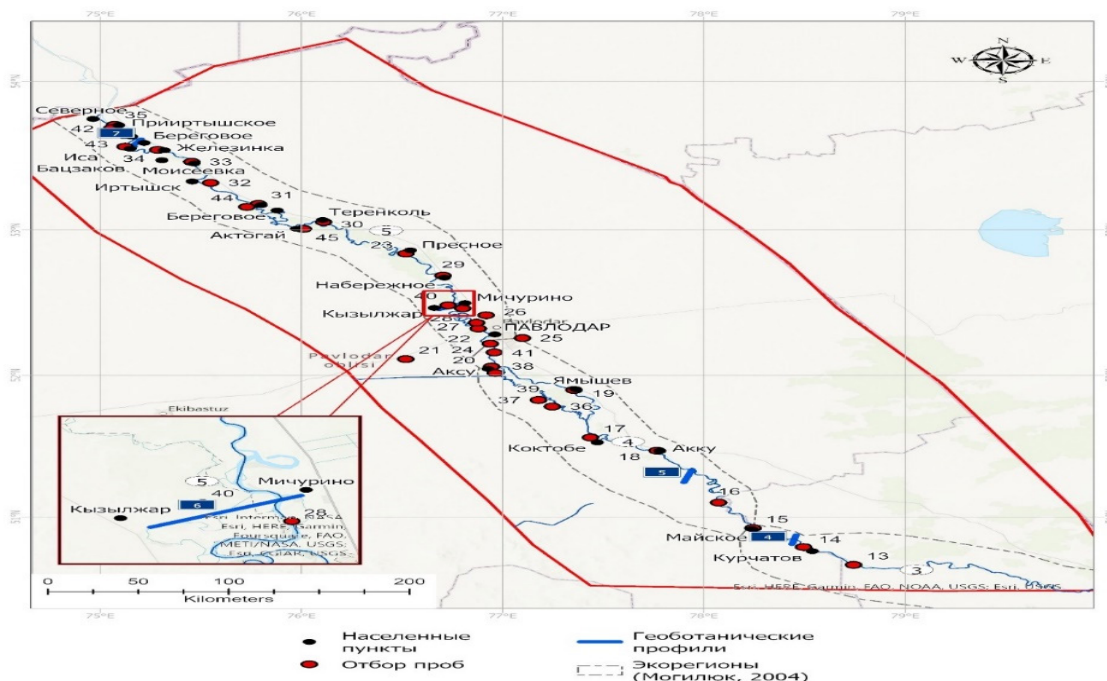


Рис 2. Карта бассейна р. Ертыс в пределах Павлодарской области

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Поступление главных ионов, в том числе Ca^{2+} и HCO_3^- , в бассейн р. Ертис происходит не только за счет простого вымывания веществ из почв водосборной площади, донных отложений рек и озер, но и процессов, протекающих в системе «природная вода-почва» (выщелачивание, гидролиз и др.), а также внутриводоемных процессов (фотосинтез, сульфатредукция и др.).

Для р. Кара Ертис характерна очень малая минерализация воды (93,0...102,7 мг/дм³), в ионном составе хорошо выражено преобладание ионов Ca^{2+} и HCO_3^- , остальные главные ионы играют подчиненную роль. Корреляционная связь ионов кальция и гидрокарбонатных ионов с минерализацией достаточно тесная (средний коэффициент корреляции 0,82). Реакция водной среды слабо щелочная со значениями рН 7,10...7,72.

Разнообразие природно-климатических условий бассейна Ертиса обуславливают некоторые различия и в химическом составе воды отдельных притоков. Правобережные горные реки Калжыр и Куршим характеризуются малой и средней минерализацией (113,2...123,2 и 259,6...325,3 мг/дм³, соответственно), преобладанием HCO_3^- и Ca^{2+} в ионном составе. Значения рН воды в р. Куршим 7,38...7,72, а в р. Калжыр 7,32...7,47. Левобережные притоки Кендерлик и Жарлы, хотя и отличаются от правобережной большей маловодностью, тем не менее имеют ультрапресную воду (общая минерализация 89,3 и 101,9 мг/дм³, соответственно), преобладание в ионном составе также Ca^{2+} и HCO_3^- . Значение рН воды в этих притоках 7,94 и 7,74, соответственно. Итак, вода основного течения р. Кара Ертис и его притоков, кроме р. Куршим, может быть отнесена к классу ультрапресных, а р. Куршим – к пресным (Никаноров А.М., 2015).

Следующая серия проб была отобрана на участке среднего течения р. Ертис вниз по течению от г. Семей до границы Казахстана с Российской Федерацией (п. Урлютюб). На этом участке в р. Ертис не впадают притоки с постоянным расходом воды, (р. Шаган

является временным водотоком, пересыхающим в летнее время), русло реки разветвленное, местами извилистое с большим количеством островов. Общая минерализация воды р. Ертис изменяется в пределах 170,7...188,2 мг/дм³, из ионов преобладающими остаются Ca^{2+} (18,0...24,1 мг/дм³) и HCO_3^- (85,4...103,7 мг/дм³). На этом участке резко отличалась проба, отобранная выше г. Курчатова по течению основного русла, где минерализация достигла 638,1 мг/дм³, а преобладающими ионами стали SO_4^{2-} (343,5 мг/дм³) и Na^+ (157,7 мг/дм³), что естественно, отразилось на значениях ионной силы раствора, коэффициентах активности ионов, содержании диоксида углерода и величине пересыщения воды карбонатом кальция. Факт повышенной минерализации воды Ертиса на этом участке возможно связан с большим поступлением сульфатов с грунтовыми водами, инфильтрующимися через серосодержащие породы (Хамзина Ш.Ш., 2013). Значения рН воды на участке среднего течения р. Ертис 7,32...8,16.

В среднем течении были отобраны пробы из обособленных озер Ески Ертис (Старица), Орловское и Курколь с предельными значениями минерализации, соответственно, 236,8...251,7; 234,7...298,0 и 240,6...274,6 мг/дм³. Преобладающими ионами в воде оз. Ески Ертис и Курколь являлись Ca^{2+} и HCO_3^- , а в воде оз. Орловское Na^+ и HCO_3^- . Вода озер более щелочная, чем в основном русле Ертиса, здесь значения рН изменяются в пределах 7,92...9,45 при максимальном значении в оз. Орловское.

Исследовано также заброшенное озеро-накопитель (отстойник) Балкылдак, находящийся в пределах черты г. Павлодара. Вода в нем повышенной солености (19400 мг/дм³), метаморфизованная, с явным преобладанием ионов натрия (28,5 % от суммы ионов) и хлоридных ионов (56,1 % от суммы ионов). На долю ионов кальция и гидрокарбонатных ионов приходится всего 0,18 и 0,02 % от суммы ионов, соответственно.

Показатели, характеризующие состояние равновесия в воде исследуемых объектов различны (таблицы 1,2, рисунки 3,4).

Таблица 1

Пределные значения основных компонентов карбонатно-кальциевого равновесия
в Ертисском бассейне, июль 2023 г.

Значение	Т°С	аН.10 ⁻⁸	СО ₂ , мг/ дм ³			СО ₃ ²⁻ ·10 ⁻⁶ , моль/дм ³	аСа.а СО ₃	*S/St
			свобод- ный	равно- весный	агрес- сивный			
р. Кендишлик, левый приток (п. Даир)								
min	26,5	1,51	1,10	0,15	1,20	3,83	0,78	0,17
max	28,7	1,82	1,43	0,17	1,10	2,87	0,51	0,12
р. Калжыр (правый приток)								
min	19,2	1,90	2,47	0,28	0,64	1,44	0,39	0,08
max	21,5	4,17	4,93	0,46	3,70	3,37	0,91	0,37
р. Куршим (правый приток)								
min	15,5	3,39	9,60	3,02	0,03	3,29	2,18	0,44
max	18,7	4,79	15,78	6,57	0,05	3,69	2,38	0,45
р. Кара Ертис								
min	22,7	3,80	3,30	0,14	2,81	0,55	0,11	0,03
max	23,5	7,94	7,89	0,31	5,50	1,22	0,29	0,06
р. Ертис (выше г. Павлодар)								
min	23,8	0,69	1,03	0,81	0,02	3,93	1,90	0,41
max	25,9	2,19	2,70	1,11	0,28	12,32	4,19	0,92
р. Ертис (г. Павлодар)								
min	23,1	2,04	3,15	0,96	0,19	3,07	1,26	0,27
max	25,7	2,63	4,00	1,31	0,74	4,53	1,85	0,41
р. Ертис (ниже г. Павлодар)								
min	24,4	1,32	1,84	0,80	0,14	2,50	0,97	0,21
max	25,7	3,16	4,53	1,20	1,54	7,01	2,62	0,59
Ески Ертис, п. Костомар (Старица)								
min	24,6	0,96	1,92	2,33	0	11,46	4,68	1,02
max	25,1	1,12	2,24	2,51	0	12,24	5,82	1,27
оз. Орловское								
min	22,6	0,03	0,02	0,14	0	9,30	4,21	0,89
max	23,0	1,20	2,43	2,16	0,12	269,9	69,95	14,75
оз. Курколь (выше г. Аксу)								
min	21,7	0,35	0,71	3,03	0	18,62	9,35	1,95
max	22,1	0,64	1,43	2,24	0	29,59	14,60	3,04
озеро накопитель Балкылдак								
	24,9	4,79	14,89	65,58	0	6,60	20,08	4,37

*Примечание: S/St величина пересыщения воды карбонатом кальция

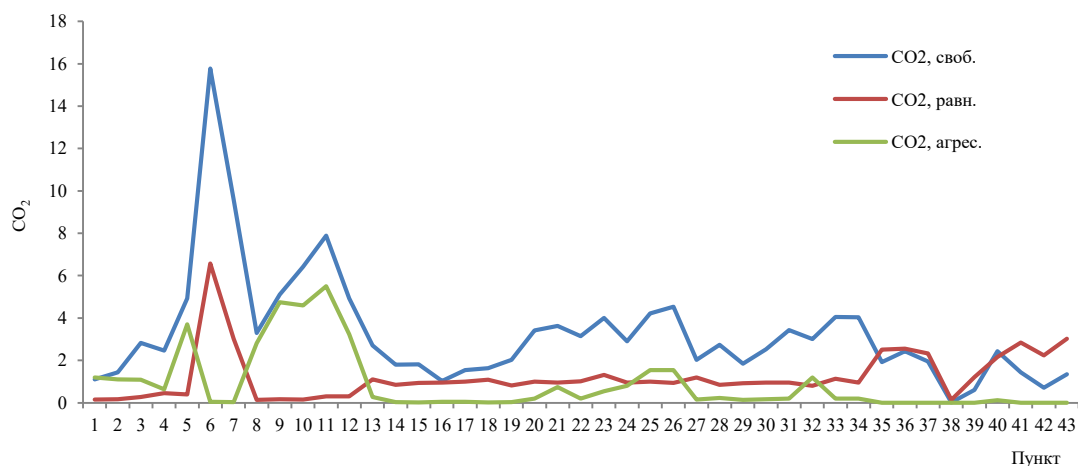


Рис.3. Содержание диоксида углерода (мг/дм³) в бассейне р. Ертис (без озера-накопителя Балкылдак)

Примечание: ось X – пункты отбора проб: 1-р. Кендишлик; 2-р. Жарлы; 3-7 р. Кара Ертис; 8-10 р. Калжыр; 11-12 – р. Куршим; 13-19 – р. Ертис, выше г. Павлодар; 20-22, 24, 25 – р. Ертис, г. Павлодар; 23, 26-34 – р. Ертис, ниже г. Павлодар; 35-37 – оз. Орловское; 38-40- оз. Курколь; 41-43 – оз. Ески Ертис

Так, содержание свободного CO_2 в воде притоков Кендирлик (1,10 мг/дм³) и Жарлы (1,43 мг/дм³) больше его равновесной концентрации, соответственно, 0,15 и 0,17 мг/дм³. Это приводит к появлению агрессивного диоксида углерода (1,20 и 1,10 мг/дм³) и вода становится ненасыщенной карбонатом кальция, величина пересыщения меньше 1 (0,12 и 0,70). Вода горных притоков Калжыр и Куршим, имея меньшую температуру воды (15,5 °C и 20,7 °C), чем левобережные при-

токи Кендирлик и Жарлы (26,5 °C и 28,7 °C), содержит и больше свободного диоксида углерода (в среднем 3,41 и 12,69 мг/дм³) и равновесного диоксида углерода (в среднем 0,38 и 4,79 мг/дм³) (рисунок 3). При этом в воде притоков Калжыр и Куршим содержание CO_2 свободного больше равновесного в 2,6...9,0 раз, величина пересыщения воды карбонатом кальция меньше 1 (0,18 и 0,44), присутствует агрессивный CO_2 в количестве 0,04 и 1,81 мг/дм³, соответственно.

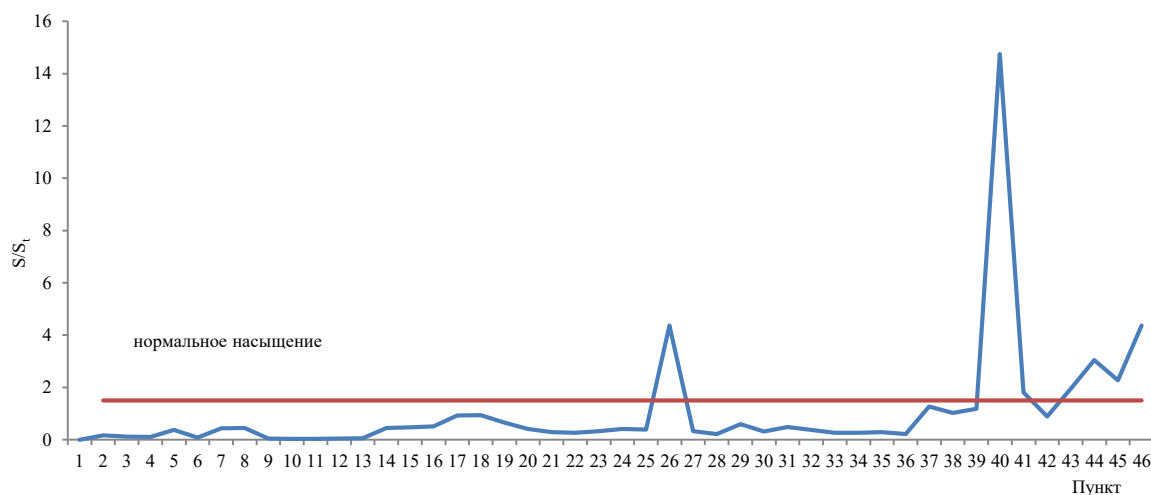


Рис.4. Величина пересыщения воды карбонатом кальция в бассейне р. Ертис, июль 2023 г.

Усл.обозн.: 1. р. Кендирлик; 2. р. Жарлы; 8...10. р. Калжыр; 11...12. р. Куршим; 3...7. р. Кара Ертис; 13...19. р. Ертис, выше г. Павлодара; 20...22,24. р. Ертис, район г. Павлодара; 23,27...36. р. Ертис, ниже г. Павлодара; 43...45. оз. Ески Ертис (Старица); 37...39. оз. Орловское; 40...42. оз. Курколь; 26. оз. Балкылдак

Таблица 2
Содержание CO_2 , CO_3^{2-} , величины произведения растворимости CaCO_3 и пересыщения воды карбонатом кальция в бассейне р. Ертис, среднее значение со стандартной ошибкой, июль 2023

Пункт отбора проб	CO_2 , мг/дм ³			$\text{CO}_3^{2-} \cdot 10^{-6}$, моль/дм ³	аCa.а CO_3	S/St
	свободный	равновесный	агрессивный			
р. Кендирлик	1,10	0,15	1,20	3,83	0,78	0,70
р. Жарлы	1,43	0,17	1,10	2,87	0,51	0,12
р. Калжыр	3,41±1,01	0,38±0,07	1,81±1,26	2,43±0,50	0,63±0,14	0,18±0,12
р. Куршим	12,69±3,09	4,79±1,77	0,04±0,01	3,49±0,20	2,28±0,1	0,44±0,01
р. Кара Ертис	5,53±1,30	0,21±0,07	4,18±0,92	1,16±0,23	0,24±0,05	0,04±0,01
р. Ертис, выше г. Павлодара	1,79±0,33	0,96±0,08	0,06±0,60	7,10±1,70	2,64±0,62	0,62±0,19
р. Ертис, район г. Павлодара	3,42±0,32	1,05±0,10	0,49±0,24	3,82±0,45	1,50±0,18	0,34±0,05
р. Ертис, ниже г. Павлодара	3,24±0,81	0,97±0,09	0,55±0,52	4,22±1,14	1,54±0,39	0,33±0,09
Ески Ертис (Старица)	2,10±0,22	2,47±0,09	0	11,98±0,34	5,30±0,41	1,16±0,09
оз. Орловское	1,07±0,94	1,27±0,69	0	100,4±112,9	27,5±28,2	5,82±5,95
оз. Курколь	1,16±0,30	2,70±0,31	0	23,19±4,27	11,62±1,99	2,42±0,41
оз. Балкылдак	14,89	65,58	0	6,60	20,08	4,37

В воде р. Кара Ерчис наблюдалось превышение содержания свободного диоксида углерода над равновесным в среднем на $5,32 \text{ мг/дм}^3$, присутствие агрессивного CO_2 в среднем $4,18 \text{ мг/дм}^3$.

На участке среднего течения р. Ерчис вниз по течению также было отмечено превышение концентрации CO_2 свободного над равновесным в среднем на $1,87 \text{ мг/дм}^3$ в районе выше г. Павлодара, на $2,37 \text{ мг/дм}^3$ в г. Павлодар и $2,27 \text{ мг/дм}^3$ ниже г. Павлодар и г. Аксу.

Реки Кара Ерчис и сам Ерчис на всех участках имеют воду ненасыщенную карбонатом кальция, содержащую агрессивный CO_2 ($2,81 \dots 5,50 \text{ мг/дм}^3$) и $0,02 \dots 1,54 \text{ мг/дм}^3$, соответственно) (таблица 1, рисунок 3). Величина пересыщения воды CaCO_3 колеблется в пределах $0,03 \dots 0,06$ в р. Кара Ерчис и $0,21 \dots 0,92$ в Ерчисе (рисунок 4). Следует отметить, что вода рек Кара Ерчис и его притоков, Ерчис обладает выщелачивающей агрессивностью, поскольку содержание HCO_3^- - ионов не превышает 120 мг/дм^3 (Пособие к СНиП..., 2006). Кроме того, поскольку в июле 2023 г. концентрация агрессивного CO_2 в исследуемых речных водах не превышает существующей нормы (больше 15 мг/дм^3), то такая вода не представляет опасности для бетона на портландцементе (Межгосударственный стандарт..., Пособие к СНиП..., 2006). Основные компоненты карбонатно-кальциевого равновесия воды р. Ерчис (г. Павлодар) и канала им. К. Сатпаева (г. Экибастуз), полученные автором настоящего сообщения в предыдущие годы, а именно в летний период 1980...1986 гг. и 1993 г. при исследовании накипеобразующих свойств воды, следующие: содержание CO_2 свободного $1,2 \dots 6,9$, CO_2 равновесного $0,2 \dots 1,3$, CO_2 агрессивного $0,2 \dots 2,0 \text{ мг/дм}^3$, величина пересыщения воды карбонатом кальция $0,3 \dots 0,8$ (Романова С.М., 2012). Эти данные согласуются с показателями за летний период 2023 г. Заметим, что в предыдущие годы максимальное содержание свободного и агрессивного диоксида углерода было несколько больше (на $4,2$ и $1,1 \text{ мг/дм}^3$, соответственно). Хотя содержание агрессивного диоксида углерода в воде р. Ерчис не превышает допустимых норм, тем не менее есть сведения, что вода рек Ерчисского бассейна оказывает разрушающее действие на бетон гидротехнических сооружений. Так, натурные исследования, проведенные в Бухтарминской бетонной плотине и бетоне напорных

сооружений Усть-Каменогорской ГЭС в период строительства, показали, что в процессе длительной фильтрации воды сквозь образующиеся трещины в бетоне происходит их постепенное разрушение, увеличение в объеме, а также локальное самоуплотнение (Мигунов В.Н., 2013).

Исследуя состояние карбонатно-кальциевого равновесия в озерах, было отмечено превышение равновесного содержания CO_2 над свободным в среднем в воде оз. Ески Ерчис на $0,37$, оз. Орловское – $0,20$ и оз. Курколь – $1,54 \text{ мг/дм}^3$. Озерная вода более щелочная, одной из причин которой является интенсивно протекающий фотосинтез с высвобождением OH^- ионов и свободного кислорода. Также в воде озер содержится большая концентрация CO_3^{2-} ионов (в среднем $11,98 \cdot 10^{-6} \dots 100,4 \cdot 10^{-6} \text{ моль/дм}^3$), чем в речной воде (в среднем $1,16 \dots 7,10 \text{ мг/дм}^3$). Все это приводит к пересыщению воды озер карбонатом кальция в $1,16 \dots 5,82$ раза, агрессивного CO_2 в воде не обнаружено (таблица 2, рисунок 4).

При таких величинах пересыщения из озерных вод возможно выпадение в осадок карбоната кальция. Это связано с изменениями содержания компонентов подвижного карбонатного равновесия. Так, при уменьшении концентрации свободной CO_2 (в процессе фотосинтеза или выделения в атмосферу) повышается значение pH и концентрация ионов CO_3^{2-} , и создаются условия для пересыщения воды CaCO_3 , что способствует сдвигу равновесия в сторону образования и осаждения карбоната кальция. Исследование корреляционных связей между компонентами карбонатного равновесия в бассейне Ерчиса позволили выявить очень тесную связь между величинами пересыщения воды карбонатом кальция и перманганатной окисляемостью (коэффициент корреляции $0,92$), что может свидетельствовать о стабильности карбонатной системы. Специальными исследованиями О.А. Алекина и Н.П. Моричевой на искусственных растворах и реках России доказано (1964), а многолетними работами на реках, озерах и водохранилищах Казахстана Романовой С.М. с соавторами (Романова С.М., Пономаренко О.И., 2015) подтверждено, что органическое вещество проявляет стабилизирующее действие на пересыщение природной воды карбонатом кальция. Корреляционная связь средней силы выявлена между величиной пересыщения и концентрацией карбонатных ионов (коэффициент корреляции $0,36$).

Вода озера накопителя сточных вод Балкылдак отличается самым высоким содержанием равновесного CO_2 , равного $65,58 \text{ мг/дм}^3$, которое превышает концентрацию свободного диоксида углерода в 4,4 раза и не содержит агрессивный CO_2 . Здесь величина пересыщения воды карбонатом кальция превышает нормальную величину произведения растворимости при данных условиях в 4,37 раза.

Вода озера накопителя не обладает выщелачивающей агрессивностью, поскольку содержание гидрокарбонатных ионов больше $120,0 \text{ мг/дм}^3$ (Пособие к СНиП...). Поскольку содержание главных ионов оказывает влияние на ионную силу раствора, необходимую для расчета компонентов карбонатного равновесия, сочли уместным дать характеристику агрессивности воды озера Балкылдак по нормируемым ионам (хлоридным, гидрокарбонатным и ионам магния). Известно, что агрессивное действие воды на цементный камень проявляется, начиная с концентрации 2500 мг/дм^3 хлоридных ионов (Межгосударственный стандарт..., Пособие к СНиП...). В воде озера Балкылдак концентрация Cl -ионов равна $10885,7 \text{ мг/дм}^3$, т.е. превышает норму в 4,4 раза. Кроме того, вода отстаивника по содержанию сульфатных ионов ($988,9 \text{ мг/дм}^3$), проявляет умеренное агрессивное воздействие, а по концентрации Mg^{2+} ионов ($912,0 \text{ мг/дм}^3$) - незначительное агрессивное воздействие на цементный камень гидротехнических сооружений, выщелачивая из него частицы композиционных материалов. Количественная сторона этого вопроса и практическое использование воды озера-накопителя Балкылдак требует дополнительных исследований. В связи с вышеизложенным рекомендуем использовать воду отстаивника Балкылдак с осторожностью, применяя необходимые меры по водоочистке.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование показало, что реки и озера бассейна р. Ертис различаются по состоянию карбонатно-кальциевого равновесия. Это различие обусловлено рядом факторов: карбонатной щелочностью (содержанием гидрокарбонатных и карбонатных ионов, диоксида углерода, ионов кальция), общей минерализа-

цией, величиной рН, температурой воды, которые в свою очередь зависят от физико-географических условий района исследования.

Для р. Кара Ертис и его притоков Кендирлик, Жарлы, Калжыр и Куршим характерна малая и средняя минерализация воды ($89,3...102,7 \text{ мг/дм}^3$), классифицируется как ультрапресная и пресная, в ионном составе хорошо выражено преобладание ионов Ca^{2+} и HCO_3^- , остальные главные ионы играют подчиненную роль. Корреляционная связь ионов кальция и гидрокарбонатных ионов с минерализацией в воде рек достаточно тесная со средним коэффициентом корреляции 0,82. Реакция водной среды слабо щелочная со значениями рН $7,10...7,94$. Карбонатно-кальциевый состав воды Ертиса сохраняется и в летний период 2023 г.

Реки Кара Ертис, его притоки и сам Ертис на всех участках имеют воду ненасыщенную карбонатом кальция, содержащую агрессивный CO_2 ($2,81...5,50 \text{ мг/дм}^3$, $0,03...3,70 \text{ мг/дм}^3$ и $0,02...1,54 \text{ мг/дм}^3$, соответственно), в концентрациях, не представляющих опасности для бетонных сооружений на портландцементе. Величина пересыщения воды CaCO_3 колеблется в пределах $0,03...0,06$ в р. Кара Ертис, $0,08...0,45$ в притоках и $0,21...0,92$ в Ертисе.

В воде обособленных озер отмечено превышение равновесного содержания CO_2 над свободным в среднем на $0,20...1,54 \text{ мг/дм}^3$. Озерная вода более щелочная, содержит большую концентрацию CO_3^{2-} ионов (в среднем $11,98 \cdot 10^{-6}...100,4 \cdot 10^{-6} \text{ моль/дм}^3$), чем речная вода (в среднем $1,16...7,10 \text{ мг/дм}^3$), становится пересыщенной карбонатом кальция в $1,16...5,82$ раза и не содержит CO_2 агрессивного. Хемогенной садки карбоната кальция обнаружено не было.

Вода озера накопителя сточных вод Балкылдак отличается самым высоким содержанием равновесного CO_2 ($65,58 \text{ мг/дм}^3$), превышающее концентрацию свободного диоксида углерода и нормальную величину произведения растворимости при данных условиях в 4,4 раза. Вода оз. Балкылдак хотя не содержит агрессивный CO_2 , однако по содержанию нормируемых ионов магния, хлоридных и сульфатных ионов вода проявляет агрессивное действие на цементный камень гидротехнических сооружений

разной степени. Так, по содержанию хлоридных ионов агрессивное воздействие превышает норму в 4,4 раза, по содержанию сульфатных ионов (988,9 мг/дм³) проявляет умеренное воздействие, а по концентрации Mg²⁺ ионов (912,0 мг/дм³) - незначительное воздействие на бетон. Количественная сторона этого вопроса и практическое использование воды озера-накопителя Балкылдак требует дополнительных исследований.

Благодарности

Работа выполнена в рамках проекта «Оценка состояния биоресурсов в казахстанской части бассейна Иртыша в условиях трансграничного использования водных ресурсов и климатических изменений» (ИРН: BR18574062-ОТ-23).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алекин О.А., Моричева Н.П. К вопросу о происхождении и будущем ионного состава Аральского моря // Гидрохимические материалы. – 1955. – Т. 25. – С. 3-15.
2. Алекин О.А., Моричева Н.П. К вопросу о стабильности карбонатной системы в природных водах // ДАН СССР. – 1957. – Т. 117, №6. – С. 1030-1034.
3. Алекин О.А., Моричева Н.П. Стабильность карбонатной системы в природных водах // Труды III Всесоюзного гидрологического съезда. – 1959. – Т. 10. – С. 40-44.
4. Алекин О.А., Моричева Н.П. К изучению сорбции микроэлементов карбонатной системой природных вод // ДАН СССР. – 1960. – Т.133, №4. – С. 893-896.
5. Алекин О.А., Моричева Н.П. К вопросу о роли организмов и выделении карбонатов из природных вод // Гидрохимические материалы, – 1961. – Т. 34. – С. 95-106.
6. Алекин О.А., Моричева Н.П. Факторы, нарушающие пересыщенность растворов карбонатом кальция // Гидрохимические материалы. – Л.: Гидрометеиздат, 1964. –Т. 37. – С. 42-48.
7. Амиргалиев Н.А. Гидрохимия канала Иртыш-Караганда. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 199 с
8. Геологическое строение Казахстана/ Ред. Г.Р. Бекжанов. – Алматы. – 2000. – 396 с.
9. Годымчук А.Ю. Технология изготовления карбонатных сорбентов для очистки воды от катионов тяжелых металлов: Автореф. дис...канд. техн. наук. – Томск. – 2003. – 24 с.
10. Государственный стандарт Республики Казахстан. Вода питьевая. Отбор проб. СТ РК ГОСТ Р 51593 2003. https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=30015917&pos=22;–46#pos=22;–46
11. Государственный стандарт Республики Казахстан. Вода питьевая. Общие требования к организации и методам контроля качества СТ РК ГОСТ Р 51232 – 2003. <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293739/4293739359.pdf>
12. Достай Ж.Д., Романова С.М., Турсунов Э.А. Водные ресурсы Казахстана: оценка, прогноз, управление. Том VII. Ресурсы речного стока Казахстана. Книга 3. Качество поверхностных вод Казахстана и вопросы международного вододелия (монография). – Алматы: Институт географии МОН РК. – 2012. – 216 с.
13. Достай Ж.Д., Романова С.М., Рыскалиева Р.Г. Ертiс гидроэкологиялык аймагынын суынын сапасы // Вестник КазНУ им. Аль-Фараби. Сер. Хим. №1 (65). Материалы Межд. конф., посвященной 100-летию Беремжанова Б.А., Алматы, – 2012. – С.167-170.
14. Драйвер Дж. Геохимия природных вод. М.: Мир, 1985. – 440 с.
15. Еремин В.В., Каргов С.И., Успенская И.А., Кузьменко Н.Е., Лунин В.В. Основы физической химии. Ч.1. 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Лаборатория знаний. – 2019. – 348 с.
16. Ибрагимов А.И. Физико-химическая характеристика воды р.Сырдарья: автореф. ... дисс. канд. хим. наук: Алма-Ата. – 1973. – 33 с.
17. Ибрагимова М.А., Романова С.М., Беремжанов Б.А. Физико-химическое исследование воды р. Тобол // Химия и хим. технология. – Алма-Ата: Казахский университет. – 1974. – Т. 16. – С. 10-18.
18. Ибрагимова М.А., Беремжанов Б.А., Романова С.М., Таранина Г.В. Формирование гидрохимического режима водохранилища-охладителя Экибастузской ГРЭС-1 // Гидрохимические материалы. – Л.: Гидрометеиздат. – 1986. – Т.XCVI. – С.142-154
19. Инсебаев Т. А., Азербайев А. Д., Абдрахманова А. Д., Рандюк И. В., Шегенова З. К. Павлодарская область: страницы истории (1938–2008). – Павлодар: ПГУ им. С. Торайгырова, – 2008. – Ч. 1. – 330 с.
20. Казимиров Е.К., Казимиров О.Е. Оптимальное решение проблемы накипеобразования в действующих водооборотных системах охлаждения // Водоочистка, – 2017. – №12. – С.52-58.
21. Кахраманов Н.Т., Гаджиева Р.Ш., Гулиева А.М., Агагусейнова М.М. Состояние проблем сорбционной очистки воды от тяжелых металлов // Вода:Химия и Экология, №6, июнь – 2013. – С.40-52
22. Климов Е.С. Природные сорбенты и комплексоны в очистке сточных вод/ Е.С.Климов, М.В. Бузаева.- Ульяновск: УлГТУ. – 2011. – 201с.
23. Крюков П.А., Шульц Н.Е. О карбонатном равновесии в почвенных растворах // Гидрохимические материалы. – 1955. – Т. 23. – С.110-137.

24. Лазарев К.Г. Гидрохимический очерк равнинной части течения реки Аму-Дарья. М.: Изд-во АН СССР, – 1957. – 107 с.
25. Левченко В.М., Ешимбаев Д. Карбонатно-кальциевое равновесие в водоемах низовьев и дельты Аму-Дарьи // Гидрохимические материалы, – 1969. – Т. 51. – С.17-21
26. Матвеева Н.П. Изученность карбонатно-кальциево-горного равновесия в природных водах. Обнинск, – 1972. – 40с.
27. Матвеева Н.П., Тарасов М.П. Влияние некоторых факторов на выделение CaCO_3 из искусственных растворов и природных вод // Гидрохимические материалы, – 1974. – Т. 61. – С. 62-73.
28. Межгосударственный стандарт. Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. Общие технические требования. ГОСТ 31384-2008.
29. Мигунов В.Н. Экспериментально-теоретическое исследование коррозии и долговечности железобетонных конструкций с трещинами. Часть 1: моногр. / В.Н. Мигунов. – Пенза: ПГУАС, – 2013. – 332 с.
30. Минкина Т.М., Ендовицкий А.П., Калинин В.П., Федоров Ю.А. Карбонатно-кальциевое равновесие в системе вода-почва. – Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, – 2012. – 376 с.
31. Моричева Н.П., Алекин О.А. Временная инструкция по определению рН, CO_2 свободной, равновесной, агрессивной. – М.: Наука, – 1965. – 18 с.
32. Никаноров А.М. Фундаментальные и прикладные проблемы гидрохимии и гидроэкологии. – Ростов н/Дону: Из-во ЮФУ, – 2015. – 573с.
33. Николаева Е.А., Громова О.Б. Влияние основных факторов на самоочищение природных вод // Международный научно-исследовательский журнал, – 2021. – №4(106), ч.2. – С.19-23. DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.106.4.028>
34. Панин М.С., Гельдымамедова Э.А. Эколого-геохимическая характеристика почв г. Павлодара Республики Казахстан // Вестник. Том. гос. ун-та. – 2006. – № 292-1. – С. 171–177.
35. Пильгук В.Я. Физико-химия воды р.Иртыш в условиях создания водохранилищ: автореф... канд. хим. наук. – Алма-Ата: КазГУ. – 1975. – 30 с.
36. Попова Т.П. О совместном осаждении некоторых микрокомпонентов природных вод с карбонатом кальция // Геохимия. – 1961. – Т. 12. – С. 14-21.
37. Пособие к СНиП 2.03.11-85 Защита от коррозии бетонных и железобетонных строительных конструкций. М.: ФГУП ЦПП, 2006 – 91 с.
38. Романова С.М., Кунанбаева Г.С. Карбонатно-кальциевое равновесие в природных водах (учебное пособие). Алматы: Казахский университет, – 2005. – 32 с.
39. Романова С.М. Гидрохимия и гидроэкология оросительных систем Республики Казахстан (бассейн р. Или). – Алматы: ДООИВА Братство, – 2003. – 181 с.
40. Романова С.М. Характеристика гидрохимического режима канала Ертис-Караганда. Сообщение 5. Накипеобразующие свойства воды // Гидрометеорология и экология, – 2008. – Вып. 2-3 (49-50. – С. 99-104).
41. Романова С.М., Пономаренко О.И. Химические равновесия в природных водах. – Алматы: Қазақ ун-ті, – 2015. – 180с.
42. Романова С.М. Бессточные водоемы Казахстана. Том 2. Качество воды: учебное пособие. – Алматы: Қазақ университеті, – 2012. – 165 с.
43. Семенов А.Д. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. – Л.: Гидрометеоиздат. – 1977. – 541 с.
44. Соколенко Э.А., Зеличенко Е.Н., Кавокин А.А. Теоретические основы процессов засоления-рассоления почв. Алма-Ата: Наука. – 1981. – 297 с.
45. Федорова Т.К. Исследование карбонатно-кальциевого равновесия в дождевых и поверхностных водах некоторых районов Средней Азии и Казахстана // Проблемы освоения пустынь. – Ашхабад. – 1968. – №1. – С. 67-71.
46. Хамзина Ш.Ш., Шарипова З.М., Омарова Г.М. Водные ресурсы Павлодарской области, их охрана и рациональное использование: Учебное пособие, – Павлодар: Инновац. Евраз. ун-т. – 2013. – 248 с.
47. Хоменко В.П. Закономерности и прогноз сульфидных процессов. – М.: ГЕОС, – 2006. – 216 с.
48. Чарыков А.К. Математическая обработка результатов химического анализа. – Л.: Химия. – 1984. – 168 с.
49. Чичиров А.А., Чичирова Н.Д., Волков М.А., Мургазин А.И. Мониторинг физико-химических процессов в системе оборотного охлаждения Набережно-челнинской ТЭЦ // Проблемы энергетики. Известия вузов. – 2010. – №3-4. – С. 146-150.
50. Эленбогена Р.Н. Комплексообразование ионов в природных водах различной минерализации и химического состава и его назначение // Труды ВОДГЕО, – 1970. – Вып. 24. – С. 113-117.
51. Янатьева О.К. О физико-химической характеристике некоторых карбонатных пород // ДАН СССР. – 1954. – т. 94. – №4. – С.777-779.
52. Benefield L.D., Judkins J.F., Weand B.L., Process chemistry for water and wastewater treatment, Prentice-Hall, Inc. Englewoods Cliffs, New Jersey, – 1982. – 212 p.
53. Berner R.A., Rao J-L. Alkalinity buildup during silicate weathering under a snow cover. Aquatic Geochemistry, – 1997. – V.2. – P. 301-312.
54. Berner R.A., Lasaga A.G., Garrels R.M. The carbonate-silicate geochemical cycle and its effect on atmospheric carbon dioxide over the past 100 million years. Amer. J. Sci., – 1983. – V. 283. – P. 641-683.
55. Dabrowski A. Selective removal of the heavy metals ions from waters and industrial wastewaters by ion-exchange method / A. Dabrowski, Z. Hubicki, E. Robens // Chemosphere, – 2004. – V.56. – P. 91-105.

56. Dabrowski Wojciech, Buchta Robert, Dabrowska Barbara, Mackie R. Ian Calcium Carbonate Equilibria In Water Supply Systems//Environment Protection Engineering, – 2010. – Vol. 36. – No. 2. – P.75-94.
57. Dickson A.G., Sabine C.L. and Christian J.R. (Eds.). Guide to Best Practices for Ocean CO₂ Measurements. PICES Special Publication 3, – 2007. – 191p.
58. Mortatti J., Probst J.-L. Silicate rock weathering and atmospheric/soil CO₂ uptake in the Amazon basin estimated from river water geochemistry: seasonal and spatial variations. Chem. Geology, – 2003. – V.197. – P.177-196.
59. Roques H., Chemical Water Treatment – Principles and Practice, VCH Publishers Inc., New York – Weinheim-Cambridge, – 1996. – 620p.
- ### REFERENCES
- Alekin O.A., Moricheva N.P. K voprosu o proiskhozhdenii i budushchem ionnogo sostava Aral'skogo morya // Gidrokhimicheskie materialy, –1955. – T. 25. – p. 3-15.
 - Alekin O.A., Moricheva N.P. K voprosu o stabil'nosti karbonatnoi sistemy v prirodnykh vodakh // DAN SSSR, – 1957. – T. 117. – №6. – p. 1030-1034.
 - Alekin O.A., Moricheva N.P. Stabil'nost' karbonatnoi sistemy v prirodnykh vodakh // Trudy III Vsesoyuznogo gidrologicheskogo s'ezda, – 1959. – T. 10. – p. 40-44.
 - Alekin O.A., Moricheva N.P. K izucheniyu sorbtsii mikroelementov karbonatnoi sistemoi prirodnykh vod// DAN SSSR, – 1960. – T.133, – №4. – p. 893-896.
 - Alekin O.A., Moricheva N.P. K voprosu o roli organizmov i vydelenii karbonatov iz prirodnykh vod// Gidrokhimicheskie materialy, – 1961. – T. 34. – p. 95-106.
 - Alekin O.A., Moricheva N.P. Faktory, narushayushchie peresyshchennost' rastvorov karbonatom kal'tsiya // Gidrokhimicheskie materialy. – L.: Gidrometeoizdat, – 1964. – T. 37. – p. 42-48.
 - Amirgaliev N.A. Gidrokimiya kanala Irtysh-Karaganda. – L.: Gidrometeoizdat, –1981. – 199p
 - Geologicheskoe stroenie Kazakhstana/ Red. G.R. Bekzhanov. – Almaty. – 2000. – 396 p.
 - Godymchuk A.Yu. Tekhnologiya izgotovleniya karbonatnykh sorbentov dlya ochistki vody ot kationov tyazhelykh metallov: Avtoref. dis...kand. tekhn. nauk. – Tomsk, – 2003. – 24 p.
 - Gosudarstvennyi standart Respubliki Kazakhstan. Voda pit'evaya. Otkorob. ST RK GOST R 51593 2003. https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=30015917&pos=22; – 46#pos=22; – 46
 - Gosudarstvennyi standart Respubliki Kazakhstan. Voda pit'evaya. Obshchie trebovaniya k organizatsii i metodam kontrolya kachestva ST RK GOST R 51232 – 2003. <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293739/4293739359.pdf>
 - Dostai Zh.D., Romanova S.M., Tursunov E.A. Vodnye resursy Kazakhstana: otsenka, prognoz, upravlenie. Tom VII. Resursy rechnogo stoka Kazakhstana. Kniga 3. Kachestvo poverkhnostnykh vod Kazakhstana i voprosy mezhdunarodnogo vododeleniya (monografiya). – Almaty: Institut geografii MON RK, – 2012. – 216p.
 - Dostai Zh.D., Romanova S.M., Ryskalieva R.G. Ertis gidroekologiyalyk aimagynyn suynyn sapasy// Vestnik KazNU im. Al'-Farabi. Ser. Khim. №1 (65). Materialy Mezhd. konf., posvyashchennoi 100-letiyu Beremzhanova B.A., Almaty, – 2012. – p.167-170.
 - Driver Dzh. Geokhimiya prirodnykh vod. M.: Mir, – 1985. – 440 p.
 - Eremin V.V., Kargov S.I., Uspenskaya I.A., Kuz'menko N.E., Lunin V.V. Osnovy fizicheskoi khimii. Ch.1. 5-e izd., pererab. i dop. – M.: Laboratoriya znaniy, – 2019. – 348 p.
 - Ibragimov A.I. Fiziko-khimicheskaya kharakteristika vody r.Syrdar'i: avtoref. ... diss. kand. khim. nauk: Alma-Ata, – 1973. – 33 p.
 - Ibragimova M.A., Romanova S.M., Beremzhanov B.A. Fiziko-khimicheskoe issledovanie vody r. Tobol // Khimiya i khim. tekhnologiya. – Alma-Ata: Kazakhskii universitet. – 1974. – T. 16. – p. 10-18.
 - Ibragimova M.A., Beremzhanov B.A., Romanova S.M., Taranina G.V. Formirovanie gidrokhimicheskogo rezhima vodokhranilishcha-okhladitelya Ekibastuzskoi GRES-1// Gidrokhimicheskie materialy. – L.: Gidrometeoizdat. – 1986. – T.XCVI. – p.142-154
 - Insebaev T. A., Azerbaev A. D., Abdrakhmanova A. D., Randyuk I. V., Shegenova Z. K. Pavlodarskaya oblast': stranitsy istorii (1938–2008). – Pavlodar: PGU im. S. Toraigyrova, – 2008. – Ch. 1. – 330 p.
 - Kazimirov E.K., Kazimirov O.E. Optimal'noe reshenie problemy nakipeobrazovaniya v deistvuyushchikh vodooborotnykh sistemakh okhlazhdeniya // Vodoochistka, – 2017. – №12. – p.52-58.
 - Kakhrakhmanov N.T., Gadzhieva R.Sh., Gulieva A.M., Agaguseinova M.M. Sostoyanie problem sorbtsionnoi ochistki vody ot tyazhelykh metallov // Voda:Kimiya i Ekologiya, №6, iyun' – 2013. – p.40-52
 - Klimov E.S. Prirodnye sorbenty i kompleksy v ochistke stochnykh vod/ E.S.Klimov, M.V. Buzaeva.- Ul'yanovsk: UIGTU, – 2011. – 201p.
 - Kryukov P.A., Shul'ts N.E. O karbonatnom ravnesii v pochvennykh rastvorakh // Gidrokhimicheskie materialy, – 1955. – T. 23. – p.110-137.
 - Lazarev K.G. Gidrokhimicheskii ocherk ravninnoi chasti techeniya reki Amu-Dar'ya. M.: Izd-vo AN SSSR, – 1957. – 107 p.
 - Levchenko V.M., Eshimbaev D. Karbonatno-kal'tsievoye ravnesie v vodoemakh nizov'ev i del'ty Amu-Dar'i // Gidrokhimicheskie materialy, – 1969. – T. 51. – p.17-21
 - Matveeva N.P. Izuchennost' karbonatno-kal'tsievogo ravnesiya v prirodnykh vodakh. Obninsk, – 1972. – 40 p.
 - Matveeva N.P., Tarasov M.P. Vliyanie nekotorykh faktorov na vydelenie SaSO₃ iz iskusstvennykh rastvorov i prirodnykh vod // Gidrokhimicheskie materialy, – 1974. – T. 61. – p. 62-73.

28. Mezghosudarstvennyi standart. Zashchita betonnykh i zhelezobetonnykh konstrukttsii ot korrozii. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya. GOST 31384-2008.
29. Migunov V.N. Eksperimental'no-teoreticheskoe issledovanie korrozii i dolgovechnosti zhelezobetonnykh konstrukttsii s treshchinami. Chast' 1: monogr. / V.N. Migunov. – Penza: PGUAS, – 2013. – 332 p.
30. Minkina T.M., Endovitskii A. P., Kalinichenko V.P., Fedorov Yu.A. Karbonatno-kal'tsievoe ravnovesie v sisteme voda-pochva. – Rostov-na-Donu: Izdatel'stvo Yuzhnogo federal'nogo universiteta, – 2012. – 376 p.
31. Moricheva N.P., Alekin O.A. Vremennaya instrukttsiya po opredeleniyu rN, SO₂ svobodnoi, ravnovesnoi, agressivnoi. – M.: Nauka, – 1965. – 18 p.
32. Nikanorov A.M. Fundamental'nye i prikladnye problemy gidrokhimii i gidroekologii. – Rostov n/Donu: Iz-vo YuFU, – 2015. – 573 p.
33. Nikolaeva E.A., Gromova O.B. Vliyanie osnovnykh faktorov na samoochishchenie prirodnykh vod// Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal, – 2021. – №4(106), ch.2. – p.19-23. DOI:https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.106.4.028
34. Panin M.S., Gel'dymamedova E.A. Ekologo-geokhicheskaya kharakteristika pochv g. Pavlodara Respubliki Kazakhstan // Vestnik. Tom. gos. un-ta. – 2006. – № 292-I. – p. 171–177.
35. Pil'guk V.Ya. Fiziko-khimiya vody r.Irtysh v usloviyakh sozdaniya vodokhranilishch: avtoref... kand. khim. nauk. – Alma-Ata: KazGU. – 1975. – 30 p.
36. Popova T.P. O sovместном osazhdenii nekotorykh mikrokomponentov prirodnykh vod s karbonatom kal'tsiya // Geokhimiya. – 1961. – T. 12. – p. 14-21.
37. Posobie k SNIIP 2.03.11-85 Zashchita ot korrozii betonnykh i zhelezobetonnykh stroitel'nykh konstrukttsii. – 91 p.
38. Romanova S.M., Kunanbaeva G.S. Karbonatno-kal'tsievoe ravnovesie v prirodnykh vodakh (uchebnoe posobie). Almaty: Kazakhskii universitet, – 2005. – 32 p.
39. Romanova S.M. Gidrokhimiya i gidroekologiya orositel'nykh sistem Respubliki Kazakhstan (bassein r. Ili). – Almaty: DOIIVA Bratstvo, – 2003. – 181 p.
40. Romanova S.M. Kharakteristika gidrokhimicheskogo rezhima kanala Ertis-Karaganda. Soobshchenie 5. Nakipeobrazuyushchie svoistva vody//Gidrometeorologiya i ekologiya, –2008. – Vyp. 2-3 (49-50. – p. 99-104).
41. Romanova S.M., Ponomarenko O.I. Khimicheskie ravnovesiya v prirodnykh vodakh. – Almaty: Kazak un-ti, – 2015. – 180p.
42. Romanova S.M. Besstochnye vodoemy Kazakhstana. Tom 2. Kachestvo vody: uchebnoe posobie. – Almaty: Kazak universiteti, – 2012. – 165p.
43. Semenov A.D. Rukovodstvo po khimicheskomu analizu poverkhnostnykh vod sushi. – L.: Gidrometeoizdat. – 1977. – 541 p.
44. Sokolenko E.A., Zelichenko E.N., Kavokin A.A. Teoreticheskie osnovy protsessov zasoleniya-rassoleniya pochv. Alma-Ata: Nauka. – 1981. – 297 p.
45. Fedorova T.K. Issledovanie karbonatno-kal'tsievogo ravnovesiya v dozhddevykh i poverkhnostnykh vodakh nekotorykh raionov Srednei Azii i Kazakhstana// Problemy osvoeniya pustyn'. – Ashkhabad. – 1968. – №1. – p. 67-71.
46. Khamzina Sh.Sh., Sharipova Z.M., Omarova G.M. Vodnye resursy Pavlodarskoi oblasti, ikh okhrana i ratsional'noe ispol'zovanie: Uchebnoe posobie, – Pavlodar: Innovats. Evraz. un-t. – 2013. – 248 p.
47. Khomenko V.P. Zakonomernosti i prognoz suffuzionnykh protsessov. – M.: GEOS, – 2006. – 216 p.
48. Charykov A.K. Matematicheskaya obrabotka rezul'tatov khimicheskogo analiza. – L.: Khimiya. – 1984. – 168 p.
49. Chichirov A.A., Chichirova N.D., Volkov M.A., Murgazin A.I. Monitoring fiziko-khimicheskikh protsessov v sisteme oborotnogo okhlazhdeniya Naberezhnochelninskoi TETs // Problemy energetiki. Izvestiya vuzov. – 2010. – №3-4. – p. 146-150.
50. Elenbogena R.N. Kompleksoobrazovanie ionov v prirodnykh vodakh razlichnoi mineralizatsii i khimicheskogo sostava i ego naznachenie // Trudy VODGEO, – 1970. – Vyp. 24. – p. 113-117.
51. Yanat'eva O.K. O fiziko-khimicheskoi kharakteristike nekotorykh karbonatnykh porod// DAN SSSR. – 1954. – t. 94. – №4. – C.777-779.
52. Benefield L.D., Judkins J.F., Weand B.L., Process chemistry for water and wastewater treatment, Prentice-Hall, Inc. Englewoods Cliffs, New Jersey, – 1982. – 212 p.
53. Berner R.A., Rao J-L. Alkalinity buildup during silicate weathering under a snow cover. Aquatic Geochemistry, – 1997. – V.2. – P. 301-312.
54. Berner R.A., Lasaga A.G., Garrels R.M. The carbonate-silicate geochemical cycle and its effect on atmospheric carbon dioxide over the past 100 million years. Amer. J. Sci., – 1983. – V. 283. – P. 641-683.
55. Dabrowski A. Selective removal of the heavy metals ions from waters and industrial wastewaters by ion-exchange method / A. Dabrowski, Z. Hubicki, E. Robens // Chemosphere, –2004. – V.56. – P. 91-105.
56. Dabrowski Wojciech, Buchta Robert, Dabrowska Barbara, Mackie R. Ian Calcium Carbonate Equilibria In Water Supply Systems//Environment Protection Engineering, – 2010. – Vol. 36. – No. 2. – R.75-94.
57. Dickson A.G., Sabine C.L. and Christian J.R. (Eds.). Guide to Best Practices for Ocean CO₂ Measurements. PICES Special Publication 3, – 2007. – 191p.
58. Mortatti J., Probst J.-L. Silicate rock weathering and atmospheric/soil CO₂ uptake in the Amazon basin estimated from river water geochemistry: seasonal and spatial variations. Chem. Geology, – 2003. – V.197. – P.177-196.
59. Roques H., Chemical Water Treatment – Principles and Practice, VCH Publishers Inc., New York – Weinheim-Cambridge, – 1996. – 620p.

ҚАЗАҚСТАН БӨЛІГІНДЕГІ ЕРТІС ӨЗЕНІ БАССЕЙНІНІҢ КАРБОНАТ-КАЛЬЦИЙ ТЕПЕ-ТЕНДІГІНІҢ ЖАЙ-КҮЙІ

С.М. Романова^{1*} з.ғ.д., Е.Г. Крупа^{1,2} б.ғ.д., А.С. Серікова¹

¹ҚР ҒЖБМ ҒК «Зоология институты» ШЖҚ РМК, Алматы, Қазақстан

²«Қазақстан қолданбалы экология агенттігі» ЖШС, Алматы, Қазақстан

E-mail: sofiyarom@mail.ru

Мақалада Қазақстан бөлігіндегі Ертіс өзені бассейнінің карбонат-кальций тепе-теңдігі бойынша 2023 жылғы шілдеде жүргізілген зерттеулерінің материалдары келтірілген. Айырмашылық бірқатар факторларға байланысты: карбонатты сілтілік, жалпы минералдану, рН мөлшері, судың температурасы, олар өз кезегінде аймақтың физикалық-географиялық жағдайына байланысты. Қара Ертіс өзендері, оның салалары және Ертістің барлық учаскелерде кальций карбонатымен қанықпаған, құрамында коррозиялық CO_2 бар ($0,02...5,50$ мг/дм³), портландцементтегі бетон құрылымдарына қауіп төндірмейді. Өзендердегі CaCO_3 суының шамадан тыс қанығу мөлшері $0,03...0,92$ аралығында. Орловка, Күркөл және Ескі Ертіс оқшауланған көлдерде өзендермен салыстырғанда тепе-теңдіктің негізгі көрсеткіштерінің артуы байқалды, олардағы су кальций карбонатымен орта есеппен $1,16...5,82$ есе қаныққан. Балқылдақ сарқынды су жинақтағыш көлінің суында агрессивті CO_2 болмады, алайда нормаланатын магний иондарының, хлоридті және сульфатты иондардың құрамы бойынша су әртүрлі дәрежедегі гидротехникалық құрылыстардың цемент тасына агрессивті әсер етеді.

Түйін сөздер: Карбонат тепе-теңдігі, судың кальций карбонатымен қанықтылығы, иондық құрамы, рН мөлшері, көмірқышқыл газы, гидрохимия, экология.

THE STATE OF THE CARBONATE-CALCIUM EQUILIBRIUM OF THE KAZAKH PART OF THE ERTIS RIVER BASIN

S.M. Romanova^{1*} Doctor of Geographical Sciences, E.G. Krupa^{1,2} Doctor of Biological Sciences, A.S. Serikova¹

¹RSE «Institute of Zoology», Almaty, Kazakhstan

²LLP «Kazakhstan Agency of Applied Ecology», Almaty, Kazakhstan

E-mail: sofiyarom@mail.ru

The materials of our own studies of the carbonate-calcium equilibrium in the Kazakh part of the Ertis river basin, conducted in July 2023, are presented. It has been established that the rivers and lakes of the Ertis basin differ in the state of carbonate-calcium equilibrium. This difference is due to a number of factors: carbonate alkalinity, total mineralization, pH value, water temperature, which in turn depend on the physical and geographical conditions of the region. The Kara Ertis River, its tributaries and Ertis itself in all areas have water unsaturated with calcium carbonate, containing aggressive CO_2 in concentrations ($0.02...5.50$ mg/dm³), which do not pose a danger to concrete structures on Portland cement. The amount of supersaturation of CaCO_3 water in rivers ranges from $0.03...0.92$. In the isolated lakes Orlovskoye, Kurkol and Eski Ertis, an excess of the main equilibrium indicators was noted compared to rivers, the water in them becomes supersaturated with calcium carbonate by an average of $1.16...5.82$ times. The water of the Balkyldak wastewater storage lake does not contain aggressive CO_2 , however, according to the content of normalized magnesium ions, chloride and sulfate ions, the water shows an aggressive effect on the cement stone of hydraulic structures of varying degrees.

Keywords: carbonate equilibrium, water saturation with calcium carbonate, ionic composition, pH value, carbon dioxide, hydrochemistry, ecology.

Сведения об авторах/Information about authors/Авторлар туралы мәліметтер:

Романова С.М. – доктор географических наук, главный научный сотрудник лаборатории гидробиологии и экотоксикологии, РГП на ПХВ «Институт зоологии» МНВО РК, пр. аль-Фараби 93, Алматы, *sofiyarom@mail.ru*

Крупа Е.Г. – доктор биологических наук, заведующий лаборатории гидробиологии и экотоксикологии, РГП на ПХВ «Институт зоологии» МНВО РК, пр. аль-Фараби 93, Алматы, *elena_krupa@mail.ru*

Серикова А.С. – научный сотрудник лаборатории гидробиологии и экотоксикологии, РГП на ПХВ «Институт зоологии» МНВО РК, пр. аль-Фараби 93, Алматы, *serikova.aiz@mail.ru*

Романова С.М. – география ғылымдарының докторы, гидробиология және экотоксикология зертханасының бас ғылыми қызметкері, «Зоология институты» РМК, әл-Фараби даңғылы, 93, Алматы, *sofiyarom@mail.ru*

Крупа Е.Г. – биология ғылымдарының докторы, «Зоология институты» РМК, гидробиология және экотоксикология зертханасының меңгерушісі, әл-Фараби даңғылы, 93, Алматы, *elena_krupa@mail.ru*

Серикова А.С. – «Зоология институты» РМК, гидробиология және экотоксикология зертханасының ғылыми қызметкері, әл-Фараби даңғылы, 93, Алматы, *serikova.aiz@mail.ru*

Romanova S.M. – Doctor of Geographical Sciences, Leading Researcher of the Laboratory of Hydrobiology and Ecotoxicology, RSE «Institute of Zoology», al-Farabi ave. 93, Almaty, *sofiyarom@mail.ru*

Krupa Ye.G. – Doctor of Biological Sciences, Head of the Laboratory of Hydrobiology and Ecotoxicology, RSE «Institute of Zoology», al-Farabi ave. 93, Almaty, *elena_krupa@mail.ru*

Serikova A.S. – Researcher at the Laboratory of Hydrobiology and Ecotoxicology, RSE «Institute of Zoology», al-Farabi ave. 93, Almaty, *serikova.aiz@mail.ru*

Вклад авторов/ Авторлардың қосқан үлесі/ Authors contribution:

Романова С.М. – разработка концепции, корректировка методологии, ресурсы, проведение исследования, подготовка и редактирование текста, визуализация

Крупа Е.Г. – разработка концепции, корректировка методологии, создание программного обеспечения

Серикова А.С. – проведение статистического анализа, проведение исследования

Романова С.М. – тұжырымдаманы әзірлеу, әдістемені әзірлеу, зерттеу жүргізу, ресурстар, мәтінді дайындау және өңдеу, көрнекілік

Крупа Е.Г. – әдістемені әзірлеу, әдістемені әзірлеу, бағдарламалық жасақтама жасау, мәтінді дайындау және өңдеу, көрнекілік

Серикова А.С. – статистикалық талдау, зерттеу жүргізу

Romanova S. – concept development, methodology development, resources, conducting research, preparing and editing the text, visualization

Krupa E. – concept development, methodology development, creating software, preparing and editing the text, visualization

Serikova A. – conducting statistical analysis, conducting research