

Гидрохимия и качество воды

Гидрохимия және судың сапасы

Hydrochemistry and water quality

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2025-3-78-90.34>

МРНТИ 38.61.17

УДК 55.556

М. К. Абсаметов^{*1}, А. Ж. Жакибаева², К. Е. Кошпанова³,
Е. Ж. Муртазин⁴, Д. К. Аденова⁵

¹ *Д.г.-м.н., профессор, академик НАН РК, директор (ТОО «Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У. М. Ахмедсафина», Алматы, Казахстан; mabsametov@mail.ru)

² Младший научный сотрудник лаборатории ресурсов подземных вод (ТОО «Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У. М. Ахмедсафина», Алматы, Казахстан; zhakibaeva8@gmail.com)

³ Младший научный сотрудник лаборатории химико-аналитических исследований (ТОО «Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У. М. Ахмедсафина», Алматы, Казахстан; kalamkas.koshpanova@mail.ru)

⁴ К.г.-м.н., заместитель директора по науке (ТОО «Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У. М. Ахмедсафина», Алматы, Казахстан; ye_murtazin@list.ru)

⁵ PhD, старший научный сотрудник лаборатории моделирования гидродинамических и геоэкологических процессов (ТОО «Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У. М. Ахмедсафина», Алматы, Казахстан; dinara1982_82@mail.ru)

ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИЙ СТОК ЦЕНТРАЛЬНОГО КАЗАХСТАНА И ЕГО РОЛЬ В РАЗВИТИИ ЭКЗОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Аннотация. Подземные воды являются основным агентом геохимических обменов между гидросферой и литосферой. Для количественной оценки гидрогеохимического стока выделены 14 районов, относящихся к бассейнам четырех крупных внутренних водоемов, определена величина химического выноса подземными и поверхностными водами, а также привнос солей атмосферными осадками. На территории исследований в связи с ограниченным распространением поверхностного стока подземные воды являются основным механизмом в перераспределении вещества в земной коре. Наряду с процессом движения гравитационных вод, заключенных в горных породах верхней части земной коры от областей питания к местам дренирования, происходит миграция химических элементов, поступающих в подземную воду в результате различных физико-химических и биологических процессов, происходящих в системе «горная порода-вода».

Ключевые слова: Центральное-Казахстанский гидрогеологический регион, подземный сток, химический состав подземных вод, химический вынос, показатель подземной химической денудации, денудационный метр.

Введение. В Докладе ООН о состоянии водных ресурсов мира за 2022 год «Groundwater: Making the invisible visible» представлены актуальные проблемы и возможности, связанные с развитием и управлением подземными водами, которые рассматриваются как природный ресурс, практическую ценность которых обеспечивают главным образом возобновляемые ресурсы и, в более исключительных случаях, невозобновляемые ресурсы (естественные запасы), которые могут эксплуатироваться и истощаться [1, 2]. Подземные воды являются не только компонентом гидрологического цикла, они также участвуют в нескольких других циклах. В геохимическом цикле они играют важную роль как «жизненная сила Земли», поскольку являются основным агентом геохимических обменов между гидросферой и литосферой [3, 4]. Подземные воды играют активную роль во внутренней гидродинамике земной коры, перераспределяя давления (напоры) и

транспортируя вещество, участвующее в механической и геохимической эволюции недр. Состав и структура недр оказывают сильное влияние на подземные воды, их распространение, движение и химический состав, а также на их взаимодействие на поверхности или вблизи нее в форме питания и разгрузки и взаимосвязей с поверхностными водами.

Подземные воды играют решающую роль в геохимических обменах между земными водами и литосферой. Это связано с их, как правило, длительным временем пребывания под землей и обычно очень большой поверхностью контакта между водой и твердой матрицей под поверхностью земли [5]. Подземные воды отвечают за растворение и гидролиз – особенно в почвах и в ненасыщенной зоне между почвой и незамкнутыми водоносными горизонтами – и также занимаются последующим переносом и осаждением растворенных веществ. Эти процессы отражаются в концентрации растворенных твердых веществ и их изменении внутри каждого водоносного горизонта, на разных глубинах, на всем пути движения подземных вод. Поэтому эти процессы оставляют свои следы на качестве подземных вод как ресурса [6].

Взаимодействие подземных вод с различными генетическими типами горных пород находится в сложной динамической связи, в процессе которой происходят разрушение горных пород путем физико-химического выветривания и последующий перенос продуктов разрушения. Начиная от разрушения горных пород до образования новых осадочных отложений системе свойственно неравновесное состояние, приводящее к изменению состава как самих подземных вод, так и минерального вещества горных пород. Состав химических элементов в подземных водах дает возможность подойти к количественной оценке таких геологических процессов, как химическое выветривание, денудация, изменение минерального вещества горных пород, засоление почв, формирование и разрушение месторождений полезных ископаемых. Особый интерес представляет зона гипергенеза, где можно проследить полный цикл водообмена от областей питания к местам дренирования [7-10].

Наиболее важной представляется верхняя гидродинамическая зона, называемая зоной активного или свободного (интенсивного) водообмена [11]. Подземный сток формируется в зоне дренирования земной коры как компонент гидрологического цикла круговорота воды в природе, обусловленный гидравлическим потенциалом рельефа земной поверхности и структурно-гидрогеологическими особенностями этой зоны

Территория исследований расположена в Карагандинской, Улытау и Абай областях Центрального Казахстана (рисунок 1) и относится к Центрально-Казахстанскому гидрогеологическому региону консолидированных горноскладчатых сооружений, в которых формируются трещинные, трещинно-карстовые и трещинно-жильные безнапорные воды. В наложенных структурах выявляются напорные трещинно-пластовые воды. Безнапорные поровые воды связаны с речными долинами [12].

Рисунок 1 –
Обзорная карта районов исследования
Figure 1 –
Overview map of the study areas



Территория исследований отнесена к классу «С» (коричневый) гидрогеологической обстановки по карте «Ресурсы подземных вод мира» [13]. Преобладают области только с местными и неглубокими водоносными горизонтами. Этот класс включает аллювиальные водоносные горизонты и водоносные зоны трещиноватости выветрелых скальных пород с низкой интенсивностью питания подземных вод – менее 20 мм/год.

Территория исследований представляет собой провинцию «Центрально-Казахстанская складчатая область» (25.01) в составе глобального региона подземных вод «Бассейны Центральной Азии» (25) согласно терминологии Международного центра оценки ресурсов подземных вод (IGRAC) [14].

Обзор гидрогеологических особенностей территории. На основе ландшафтно-геоморфологических и структурно-тектонических особенностей в аридных условиях выделено 14 гидрогеологических районов, относящихся к бассейнам четырех крупных внутренних водоемов (рисунок 2) [15].

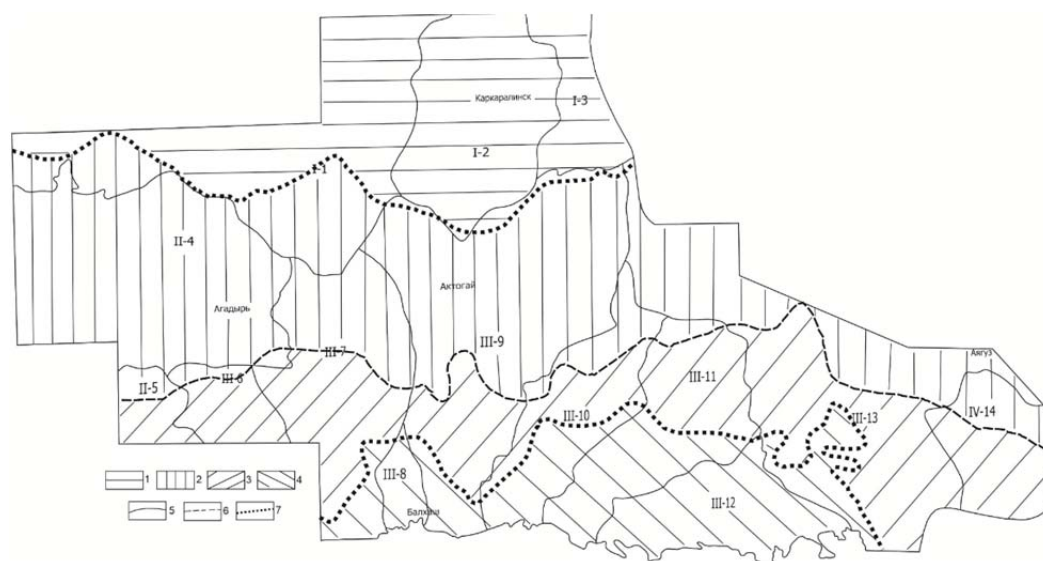


Рисунок 2 – Карта гидрогеологического районирования Северного Прибалкашья.

Гидрогеологические районы: I – бассейн оз. Тенгиз (1 – Нура, 2 – Талды, 3 – Тундык); II – бассейн Арала (4 – Сарысу, 5 – Атасу); бассейн оз. Балкаш (6 – Мойынты, 7 – Жамши, 8 – междуречье Жамши-Токрау, 9 – Токрау, 10 – Кентерлау, 11 – Ащюзек, 12 – междуречье Ащюзек-Баканас, 13 – Баканас-Аягуз). Ландшафтные зоны и подзоны: 1, 2 – сухие степи: 1 – с темно-каштановыми почвами, 2 – со светло-каштановыми почвами; 3, 4 – пустынные степи и пустыни: 3 – с бурыми почвами, 4 – с серо-бурными почвами. Границы между: 5 – гидрогеологическими районами, 6 – ландшафтными зонами, 7 – ландшафтными подзонами

Figure 2 – Map of hydrogeological zoning of Northern Pribalkhashye.

Legend: Hydrogeological regions: I – Tengiz Lake basin (1 – Nura, 2 – Taldy, 3 – Tundyk); II – Aral Sea basin (4 – Sarysu, 5 – Atasu); Lake Balkhash basin (6 – Mointy, 7 – Zhamshi, 8 – Zhamshi-Tokrau interfluvium, 9 – Tokrau, 10 – Kenterlau, 11 – Ashiozek, 12 – Ashiozek-Bakanas interfluvium, 13 – Bakanas-Ayaguz). Landscape zones and subzones: 1, 2 – dry steppes; 1 – with dark chestnut soils, 2 – with light chestnut soils; 3, 4 – desert steppes and deserts: 3 – with brown soils, 4 – with grey-brown soils. Boundaries between: 5 – hydrogeological regions, 6 – landscape zones, 7 – landscape subzones

I. Бассейн озера Тенгиз включает 3 района – Нуринский (I.1), Талдыкский (I.2), Туындыкский (I.3) (см. рисунок 2). Большая часть территории представлена низкогорьем, мелкосопочником и расчлененными слабонаклонными аккумулятивными равнинами. Общий уклон поверхности рельефа с юга на север.

Теплый и сухой климат континентального типа определяет территорию как зону сухих степей с темно-каштановыми почвами. Растительность представлена в основном полынью, ковылем и кокпеком, а в местах выхода подземных вод – густым сочным разнотравьем. В пределах горных массивов встречаются хвойные деревья.

Подземные воды формируются под влиянием современных физико-географических условий. Южная часть, где преобладает низкогорный рельеф, сложенный хорошо обнаженными трещи-

новатыми интрузивными и эффузивными породами, является региональной областью питания и формирование подземных вод происходит за счет инфильтрации атмосферных осадков как зимне-весеннего, так и летнего периодов. Мелкосопочная и равнинная части, сложенные эффузивно-осадочными образованиями, перекрытыми рыхлыми кайнозойскими отложениями, служат областью транзита и разгрузки подземных вод, движущихся с юга на север [16].

Роль атмосферных осадков в питании подземных вод невелика, а в речных долинах определяющей является инфильтрация поверхностного стока. Разгрузка их происходит путем родникового стока, испарения, транспирации растениями и выклинивания в плёсы и запрудные озера. Значительно распространены здесь трещинные воды с активным водообменом, что обуславливает их низкую минерализацию. При этом в формировании химического состава трещинных вод областей питания играют существенную роль атмосферный привнос солей, вещественный состав покровных рыхлых отложений и водовмещающих пород.

Всего в районе по генетическому признаку выделяются три гидрогеохимических группы: а) гидрокарбонатные кальциево-натриевые (местами натриевые) воды I и II типов, развитые, главным образом, в наиболее высоких частях территории, где основными формирующимися факторами их химического состава выступает состав атмосферных осадков и водовмещающих пород; б) сульфатно-гидрокарбонатные натриево-кальциевые воды II типа, слагают низкогорную и мелкосопочную части района, на их химический состав значительное влияние оказывает состояние покровных отложений зоны аэрации, обогащенных сульфат-ионами; в) сульфатные натриево-кальциевые воды II типа, ограниченно распространенные и связанные с палеозойскими образованиями, обогащенными сульфидными минералами.

II. Бассейн Арала охватывает два района: Сарысуский (II.4) и Атасуйский (II.5) (см. рисунок 2). В орографическом отношении территория представлена низкогорьем, мелкосопочником и цокольной равниной. Низкогорье развито на водоразделах рек Жаксысарысу-Шерубайнура и Жамансарысу-Атасу. Мелкосопочный рельеф расположен в северо-западной и юго-восточной части с абсолютными отметками 650-880. Слабовсхолмленная цокольная равнина тяготеет к долинам рек Сарысу и Атасу, отметки которой снижаются с востока на запад.

В строении районов участвует комплекс пород весьма широкого стратиграфического диапазона, начиная от протерозоя до современного отдела четвертичной системы [17]. Преобладают осадочно-вулканогенные образования палеозоя, слагающие мелкосопочные и низкогорные части территории и рыхлые мезозой-кайнозойские отложения, выполняющие межгорные равнины и речные долины. Значительно развиты в пределах низкогорий метаморфические кембрий-протерозойские и интрузивные палеозойские породы. В скальных образованиях водоносной является верхняя трещиноватая зона мощностью не более 25-40 м, где питание подземных вод происходит путем инфильтрации атмосферных осадков, главным образом зимне-весеннего периода, составляющих около 30% их годовой суммы. Осадки теплого периода почти полностью расходуются на испарение и транспирацию, за исключением ливневых продолжительных дождей, влага которых частично просачивается в водоносные горизонты.

К зоне преимущественно речного питания подземных вод относятся долины рек и мелкосопочные склоны на эпигенетических участках, где русла современных рек проложены по скальным породам. Их питание здесь происходит в весеннее время за счет инфильтрации поверхностного стока в период половодья и в меньшей степени за счет атмосферных осадков по площади распространения водоносного горизонта.

Подземные воды в областях с интенсивным водообменом имеют в основном гидрокарбонатный кальциевый состав и минерализацию, не превышающую 1 г/л. По мере движения вод от областей питания происходит рост их минерализации и изменение состава от гидрокарбонатного к сульфатному. Эта закономерность нередко нарушается из-за неравнозначных ландшафтно-геохимических условий районов. В частности, на участках с засоленными почвами на небольших расстояниях от обнаженных площадей минерализация подземных вод увеличивается в несколько раз и соответственно они преобразуются в основном в сторону роста содержания ионов хлора и натрия.

III. Бассейн озера Балкаш включает 8 районов: Мойынтинский (III.6), Жамшийский (III.7), Жамши-Токрауский (III.8), Токрауский (III.9), Кентерлауский (III.10), Ашиозекский (III.1), Ашиозек-Баканасский (III.12), Баканас-Аягузский (III.13) (см. рисунок 2). Северная часть территории

представляет собой область питания подземных вод и представлена низкорельефом. По мере продвижения их к области разгрузки (оз. Балкаш) происходит смена орографических единиц в мелкосопочник, а затем в цокольные и частично аккумулятивные равнины.

В геологическом строении района главным образом участвуют вулканогенно-осадочные образования палеозоя и прорывающие их крупные гранитные массивы. В меньшей мере присутствуют рыхлые кайнозойские осадки, слагающие межсочные депрессии и речные долины.

Изменение климатических условий районов в субмеридиональном направлении с севера на юг определяет и смену ландшафтных зон. Северная часть представлена зоной сухих степей со светло-каштановыми почвами, а на юге – зоной пустынных степей и пустынь с бурыми и серо-бурими пустынно-степными почвами. Растительный покров разрежен и представлен полынью, солянками, эфемерами, редко ковылью на севере районов и зарослями камыша по побережью оз. Балкаш.

Анализ гидродинамических условий территории позволяет выделить две зоны, соответствующие определенным поверхностям дренирования подземных вод [17]. Зона основного питания трещинных вод охватывает более возвышенные низкорельефные и мелкосопочные сооружения южного склона Балкаш-Ертисского водораздела. Высокое гипсометрическое положение при значительном расчленении рельефа, хорошая обнаженность интенсивно трещиноватых пород, повышенное количество атмосферных осадков создают здесь благоприятные условия для питания подземных вод. При этом решающая роль в их питании принадлежит атмосферным осадкам зимне-весеннего периода, составляющим в годовом балансе атмосферной влаги около 40%.

Зона транзита трещинных и грунтовых вод занимает пространства мелкосопочника и аккумулятивных равнин. Питание здесь осуществляется только на участках местных водоразделов и в основном за счет транзита региональных потоков, сформированных в зонах питания. Подземный сток осуществляется как по верхней, наиболее трещиноватой части водоносных комплексов в виде довольно равномерно распределенного потока, так и по зонам крупных региональных тектонических разломов. Концентрируются подземные потоки в долинах рек, особенно глубоко врезаемых в палеозойское ложе, где дренируются подземные воды нескольких водоносных горизонтов и дополнительно поглощается поверхностный сток, образуя мощные региональные потоки, движущиеся в сторону их региональной области разгрузки (оз. Балкаш).

Формирование химического состава подземных вод районов тесно связано с гидродинамическими условиями с особенностями их питания, транзита и разгрузки. В зонах питания, обеспеченных постоянным поверхностным стоком, образуются слабоминерализованные (до 1 г/л) воды гидрокарбонатного, гидрокарбонатно-сульфатного натриево-кальциевого состава. Химический состав подземных вод в зонах транзита определяется составом атмосферных осадков, процессами выщелачивания и растворения компонентов из водовмещающих пород и покровных отложений [18]. В зависимости от них минерализация их изменяется от 1 до 10 г/л, а их состав от гидрокарбонатно-сульфатного до хлоридного кальциево-натриевого и натриевого. За пределами воздействия паводкового стока подземные воды долин рек имеют повышенную минерализацию (до 20 г/л) с преобладанием сульфатного натриевого до хлоридного-натриевого состава. Минерализация увеличивается главным образом в результате испарения с неглубоко залегающих подземных вод и процессов смешения с водами, прошедшими начальную стадию метаморфизации на первых этапах формирования потоков.

IV. Бассейн озера Сасыкколь включает Тансыкский район (IV.14) (см. рисунок 2), в пределах которого преобладает денудационная цокольная равнина, сменяющаяся на отдельных участках аккумулятивной, а на севере переходящая в мелкосопочник и низкорельеф. Общий уклон местности направлен на юг в сторону оз. Сасыкколь. Распологается район в зоне сухих степей со светло-каштановыми почвами, и большая часть территории находится в зоне пустынных степей с бурыми почвами.

Формирование подземных вод происходит за счет инфильтрации атмосферных осадков и паводковых вод реки Тансык. Главными областями питания являются ядра антиклиналей, возвышающиеся на фоне равнин, откуда и происходит подземный сток в сторону понижения рельефа. Разгружаются подземные воды в заболоченные участки и мелкие озера, а также расходуются на испарения и транспирацию. Некоторую роль при этом, вероятно, играет подземный отток в оз. Сасыкколь.

Пестрый химический состав подземных вод обусловлен сложными физико-химическими процессами, происходящими при взаимодействии с водовмещающими и перекрывающими породами испарительной концентрации, а также при смешении вод различного состава. По мере удаления от областей питания минерализация подземных вод от 0,3 возрастает до 3-6 г/л с преимущественным сульфатным и хлоридным натриевым составом. Воды с минерализацией свыше 10 г/л хлоридного натриевого состава имеют локальное распространение и отмечаются на небольших участках с солончаковым или солонцовым типом засоления почв.

Материалы и методы исследований. Для количественной оценки гидрогеохимического стока для выделенных 14 районов определена величина химического выноса подземными и поверхностными водами, а также привнос солей атмосферными осадками на двадцатые годы текущего столетия на основе данных национальной гидрометеорологической службы и разведочных гидрогеологических работ.

Атмосферные осадки являются основным природным фактором, который обуславливает развитие процессов выветривания горных пород и седиментогенеза. Это те первичные водные растворы, которые взаимодействуют с горными породами и почвами и образуют поверхностный и подземный сток. Территория исследований находится в аридных условиях, при которых большее количество осадков, выпадающих в летнее время (не менее 40-70% от годовых), расходуется на испарение. В связи с этим при расчетах атмосферной составляющей химического стока выполнено расчленение на осадки прохладного периода осень-зима-весна и летнего периода. Регулярные режимные наблюдения за количественными и качественными показателями атмосферных осадков на сети стационарных метеостанций (Балкаш, Жезказган, Караганда) ведутся специалистами национальной гидрометеорологической службы (РГП «Казгидромет»). Состав зимних и летних осадков различается. Снеготалая вода с минерализацией 18-153 мг/л, в ионном составе преобладают гидрокарбонаты, сульфаты и кальций. В ионном составе дождевой воды преобладают сульфаты, гидрокарбонаты, кальций и натрий, минерализация ее 21-421 мг/л. Дальнейшие расчеты проведены по усредненному составу осадков прохладного и летнего периода с учетом площади оцениваемого района и среднесезонного количества осадков за расчетный период.

Речной сток играет решающую роль в развитии геологических процессов, особенно связанных с современным седиментогенезом [19]. Большинство рек региона не имеет круглогодичного стока, в их годовом режиме выделяются три фазы: весеннее половодье, во время которого проходит в среднем 70-90% годового стока; летне-осенняя межень с устойчивыми малыми расходами до 5-10% годового стока; период ледостава – зимней межени – со стоком 2-3%. Химический состав речных вод формируется в результате влияния атмосферных осадков, временных поверхностных водотоков и подземных вод. В меженьный период реки питаются за счет подземных вод, поэтому в дальнейших расчетах, составляющих гидрогеохимический сток, они отнесены к подземным водам. Собственно поверхностная составляющая химического выноса определяется величиной паводкового стока. По химическому составу эти воды занимают промежуточное положение между атмосферными осадками и речными водами в период летней межени и связаны с ландшафтами и геоструктурным положением водосборного бассейна [20].

На территории исследований в связи с ограниченным распространением поверхностного стока подземные воды являются основным механизмом в перераспределении вещества в земной коре. Наряду с процессом движения гравитационных вод, заключенных в горных породах верхней части земной коры, от областей питания к местам дренирования происходит миграция химических элементов, поступающих в подземную воду в результате различных физико-химических и биологических процессов, происходящих в системе «горная порода-вода». При определении гидрогеологического стока использована величина модуля подземного стока, установленного при гидрогеологической съемке и разведке подземных вод. Для определения химической составляющей выноса использован средний состав подземных вод водоносных комплексов по основным районам.

Для оценки суммарного химического выноса элементов использовано уравнение [21]:

$$Q_{\text{сум}} = Q_{\text{атм}} + Q_{\text{пов}} + Q_{\text{подз}} - Q_{\text{ак}}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{сум}}$ – суммарный химический вынос; $Q_{\text{атм}}$ – атмосферная составляющая химического выноса; $Q_{\text{пов}}$ – химический вынос поверхностными водами; $Q_{\text{подз}}$ – химический вынос подземными водами; $Q_{\text{ак}}$ – аккумуляция солей из атмосферных осадков летнего периода.

При взаимодействии вода-порода происходят не только изменение минералогического и химического состава пород, но и мобилизация вещества, приводящего к механическому и химическому выветриванию. Эти два процесса тесно связаны между собой. Так, изверженные и сильно метаморфизованные породы слабо подвержены механической эрозии до тех пор, пока они не ослаблены химическим выветриванием. Показатель подземной химической денудации определяется по формуле:

$$h = \frac{M_{п.х.с.}}{\delta \tau}, \quad (2)$$

где h – показатель подземной химической денудации, мм/1000 лет; $M_{п.х.с.}$ – модуль подземного химического стока, г/с км²; δ – средняя плотность горных пород в верхней части земной коры; τ – время 1000 лет [21]. Поскольку химической денудации в регионе подвержены главным образом коренные породы, то принята плотность пород 2,5 г/см³.

Тем самым химическая денудация определяется величиной выноса подземными водами химических элементов из водовмещающих пород. Однако химический состав подземных вод складывается: из солей, принесенных атмосферными осадками, элементов, выщелоченных из вмещающих пород и почв, а также ионов, синтезированных из воды и углекислого газа. В связи с этим важно выделить отдельные составляющие выноса в зависимости от генетической особенности химического состава подземных вод, то есть установить величину литогенной составляющей химического выноса. Подробная методика выделения каждой из составляющих химического выноса подземными водами изложена в работе С.Л. Шварцева [10].

Результаты и их обсуждение. Проведенные расчеты показывают значительную дифференциацию модуля химического выноса по районам и его тесную связь с ландшафтными условиями и литологическим составом пород. Наибольшие значения химического выноса (23,1-25 т/год км²) характерны для карбонатных отложений средне-верхнего карбона и верхнего девона, нижнего карбона в пределах низкогорной части района 1 и в мелкосопочниках районов 11 и 12.

Несколько меньшими, а по долинам крупных рек (Токрау, Аягуз) даже большими значениями модуля химического выноса характеризуются мезозой-кайнозойские отложения. Как уже отмечалось, реки являются дрёнами, по которым происходит основной сток подземных вод, и величина химического выноса составляет по ним 15,7-30 т/год. При этом рост выноса растворенных соединений в долинах рек наблюдается с севера на юг, по мере относительного уменьшения подземного стока и при значительном его увеличении незначительно превышают выносы кальция с карбонатных пород верхнего девона и нижнего карбона района 9 (2,5 г/(с·км²)).

Для Центрально-Казахстанской части Балкашского сегмента проведены расчеты химического выноса подземными водами по бассейнам стока. В бассейне Карского моря – районы 1, 2, 3, расположенных преимущественно в низкогорьях при относительно высоких значениях модуля подземного стока и небольшой минерализации, выносятся 293,8 тыс.т/год растворенных веществ. При том химический вынос гидрокарбоната составляет 35,5 тыс. т/год, сульфата – 86,5 тыс.т/год, хлора – 49,1 тыс. т/год, натрия – 58,6 тыс. т/год, кальция 37,5 тыс. т/год, магния – 13,1 тыс. т/год и модуль подземного химического выноса для всего бассейна равен 0,29 г/(с·км²).

Суммарный вынос подземными водами из районов 4 и 5 в бассейн Аральского моря составляет 181,7 тыс.т/год растворенных веществ. Относительное преобладание выноса сульфат-иона (96 620 т/год) подземными водами объясняется как распространением сульфатных солей перекрывающих отложений, так и окислением и выщелачиванием сульфидных минералов, имеющих широкое распространение практически во всех породах районов.

В бассейн озера Балкаш в исследуемом регионе входит территория с площадью 88 300 км². При этом основной подземный сток (более 70%) формируется в долинах рек Токрау, Баканас и Аягуз, имеющих площадь 40 400 км², и выносятся 498,5 тыс. т/год растворенных веществ, что составляет 53% от выноса по бассейну. Основными ионными составляющими подземного химического выноса с бассейна являются, тыс. т/год: гидрокарбонат – 59,4; сульфат – 402,2; хлор – 146,1; натрий – 195,5; кальций – 99,5; магний – 37,7. Среднее значение модуля подземного химического выноса бассейна равно 0,34 г/(с·км²).

На вынос подземными водами в условиях континентального засоления огромное влияние оказывают соли атмосферного происхождения, которые были учтены при определении роли

химического выноса в развитии экзогенных процессов. Подземные воды обогащаются ионами хлора преимущественно только за счет засоленных горных пород и почв. Значит источником хлоридных солей являются не горные породы, а атмосферные осадки, формирующие соли в течение всего периода существования засушливых условий в данном регионе. Поэтому практически весь хлоридный состав подземных вод формируется за счет атмосферных осадков, и по его величине можно определить соотношения между атмосферными составляющими химического выноса подземными водами различных ландшафтных зон. Так, среднее содержание хлора в подземных водах зоны сухих степей с темно-каштановыми почвами составляет 54,5 мг/л, в светло-каштановых почвах – 92,2 мг/л, в зоне пустынных степей и пустынь с бурыми почвами – 292,2 мг/л и серо-бурими почвами 967,7 мг/л. Значит по мере увеличения испарительной концентрации значения атмосферной составляющей химического выноса подземными водами растут. Например, относительно зоны сухих степей с темно-каштановыми почвами в светло-каштановых почвах выше в 1,6 раза, в бурых – в 5,1 раза и в серо-бурых – в 16,8 раза. Теперь, зная литогенную составляющую для сухих степей с темно-каштановыми почвами (23%), определяем ее и для других ландшафтных зон.

Величина химической денудации за счет выноса растворенных соединений подземными водами в регионе изменяется от 0,03 (денудационная равнина в зоне пустынь) до 0,9 мм/1000 лет (среднегорье сухих степей), то есть в 30 раз, что связано с ландшафтными условиями и высотной зональностью (таблица 1).

Таблица 1 – Величина денудации при химическом выносе элементов подземными водами по основным ландшафтным зонам региона

Table 1 – The magnitude of denudation during chemical removal of elements by groundwater in the main landscape zones of the region

Ландшафтная Зона	Тип почв	Номер расчетного района	Величина литогенной составляющей подземного химического выноса, тыс. т/год	Величина денудации, мм/1000 лет	Денудационный метр, млн лет
Сухие степи	Темно- каштановые	1	39,3	0,9	1,1
		2	18	0,7	1,4
		3	6,8	0,7	1,4
	Светло- каштановые	4	24,1	0,6	1,7
		9	26,9	0,5	2
		13	44,8	0,9	1,1
Пустынные степи и пустыни	Бурые пустынно- степные	5	0,6	0,1	10
		6	0,9	0,1	10
		7	5,6	0,1	10
		10	6,5	0,3	3,3
		11	3,9	0,1	10
		14	2,4	0,1	10
	Серо-бурые	8	0,1	0,03	33
		12	1,2	0,06	17

В условиях, когда подземный сток закономерно возрастает с юга на север с увеличением абсолютных отметок местности и количества атмосферных осадков, мы не наблюдаем последовательного роста химической денудации с увеличением модуля стока. В частности, максимальные значения денудации установлены в среднегорной части сухих степей с темно-каштановыми почвами (0,9 мм/1000 лет), а также в более аридных условиях низкогорных районов сухих степей со светло-каштановыми почвами (0,9 мм/1000 лет) при времени, необходимом для снижения земной поверхности на 1 м, 1,1 млн лет (денудационный метр). И это вполне закономерно, так как степень обогащения подземных вод химическими элементами наряду с величиной подземного стока определяется и временем взаимодействия воды с вмещающими породами.

Таким образом, наибольшие значения химической денудации характерны для низкогорных и среднегорных частей региона, где отмечается и хорошая проницаемость пород. В равнинных частях на юге исследуемой территории мы наблюдаем высокую степень засоленности пород, что свидетельствует о минимальных величинах химической денудации (менее 0,03 мм/1000 лет), а также аккумуляции солей в отдельных депрессиях. Химическая денудация в мелкосопочниках изменяется от 0,1 до 0,3 мм/1000 лет и занимает промежуточное положение в значениях денудаций горных районов и равнин.

Интенсивность развития денудационных процессов во многом определяется и выносом химических элементов поверхностными водами паводкового периода. Однако из-за кратковременности взаимодействия паводковых вод с горными породами химический состав их формируется за счет состава атмосферных осадков, выноса продуктов испарительной концентрации и выветривания. Поэтому мы при расчете величины денудации учитывали количество выносимых реками взвешенных частиц и продуктов химического выветривания с вычетом атмосферной составляющей (таблица 2).

Таблица 2 – Величина денудации при выносе веществ подземными и поверхностными водами по бассейнам морей и внутренних водоемов

Table 2 – The magnitude of denudation during the removal of substances by ground and surface waters in sea basins and inland water bodies

Бассейн	Составляющая выноса	Площадь водосбора, тыс. км ²	Величина денудации за счет растворенных и взвешенных частиц, мм/1000 лет	Денудационный метр, млн лет
Озеро Тенгиз	Поверхностная	30,2	0,05	20
	Подземная	32,5	0,8	1,2
	Суммарная	32,5	0,81	1,2
Аральское море	Поверхностная	6,0	0,06	17
	Подземная	15,7	0,6	1,7
	Суммарная	15,7	0,63	1,6
Озеро Балкаш	Поверхностная	43,2	1,1	0,9
	Подземная	82,3	0,4	2,5
	Суммарная	82,3	0,78	1,3
Озеро Сасыкколь	Поверхностная	0,54	0,3	3,3
	Подземная	6	0,1	10
	Суммарная	6	0,2	5
В целом по региону	Поверхностная	79,9	0,4	2,5
	Подземная	136,5	0,5	2
	Суммарная	136,5	0,7	1,4

Относительно невысокие значения денудации при выносе паводковыми водами в бассейны Карского и Аральского морей (0,05-0,06 мм/1000 лет) связаны с тем, что сток рек Тундык, Тансык, Нура, Сарысу в основном зарегулирован мелкими плотинами (см. таблицу 2).

Величина денудации за счет суммарного выноса подземными и поверхностными водами по бассейнам морей и внутренних водоемов примерно одинаковая (0,6-0,8 мм/1000 лет) и денудационный метр изменяется от 1,2 до 1,3 млн лет (см. таблицу 2). Лишь в бассейне оз. Сасыкколь он составляет 0,2 мм/1000 лет, что объясняется небольшим подземным и поверхностным стоком.

Обсуждение. В целом по региону показатель денудации земной поверхности под действием выноса поверхностными водами – 0,4 мм/1000 лет, подземными водами – 0,5 мм/1000 лет и за счет суммарного выноса – 0,7 мм/1000 лет. Величина денудационного метра составляет 2,5; 2 и 1,4 млн лет по поверхностным, подземным и суммарным выносам химических элементов из региона.

Вынос подземными водами химических элементов из горных пород является основным показателем современного химического разрушения последних. Как мы убедились, интенсивность этого процесса во многом определяется литологическим составом водовмещающих пород, а также количеством воды и времени взаимодействия в системе «вода-порода-газ».

И тенденция развития процесса следующая: при объеме воды в системе 8,14% кальций составляет 68,5%, доломиты – 12,5% и кварц – 0,4%. В дальнейшем при увеличении воды в системе в 4 раза количество минералов в твердой фазе сокращается в 2,5 раза, и уже при достижении объема воды 48,53% содержание твердой фазы в системе уменьшается быстрее (7-8 раз), чем рост объема воды в системе (1,4 раза). Значит при объеме воды, примерно равном объему породы, происходят наиболее интенсивные процессы перехода химических элементов из твердой фазы в жидкую.

В более сложной форме происходит растворение алюмосиликатных пород, характеризующихся инконгруэнтным растворением. В этом случае химические элементы породы под действием воды разделяются на элементы, перешедшие в раствор, и элементы, вошедшие в кристаллическую решетку вторичных минералов. При рассмотрении данного типа растворения большой интерес представляют изменения процентного соотношения первичных и вторичных минералов внутри самой твердой фазы, которую мы попробуем осветить на примере взаимодействия воды с граносиенитами в открытой системе.

Таким образом, при объеме воды в системе 7,65% первичные минералы составляют 66,8%, вторичные – 17%. При увеличении воды в системе до 48,7% количество первичных минералов уже составляет 0,19%, а вторичных – 0,28%, то есть в твердой фазе системы начинают преобладать вторичные минералы и этот процесс может быть завершён полным образованием первичных минералов во вторичные. При этом раствор обогащается катионной составляющей (Na, K, Ca, Mg и др.) и силикатными соединениями, темп перехода этих элементов в раствор отстает в 7 раз от величины образования вторичных минералов. Величину этого отставания мы определяем как отношение весовых процентов образованных вторичных минералов к весовым процентам растворенных компонентов при объеме воды в системе 49%. Отсюда вытекает, что скорость химического выветривания на много опережает скорость химической денудации. Следовательно, химическое выветривание готовит субстрат для механической эрозии меньше скорости химического выветривания, формирует кору выветривания (Шварцев, 1978).

Аналогично были рассчитаны соотношения выноса и накопления химических элементов в продуктах выветривания для различных горных пород: сиенита – 7,3; гранодиотрита – 6,9; диорита – 6,2; пироксенита – 5; перидотита – 0,75 и габбро – 0,4. Прежде всего, отметим, что рассматриваемое соотношение колеблется от 0,4 до 7,3. При этом чем выше растворимость минералов породы, тем меньше это соотношение, а в ультраосновных породах выносятся не только все подвижные катионы, но и подавляющая часть кремния, что приводит к концентрированию гидрооксидов железа в продуктах выветривания.

Заключение. На основе приведенных соотношений можно рассчитать полный объем разрушаемых водой горных пород и скорость химического выветривания. Так как ультраосновные породы в регионе имеют ограниченное распространение, а преобладают породы кислого, щелочного и среднего состава, то величина соотношения выноса и накопления химических элементов принята для всего региона равной семи, и объем выветренных пород в зоне сухих степей составляет 12,8 т/год·км², а в пустынных степях и пустынях – 3 т/год·км².

Соотношение величин выноса и накопления элементов в продуктах выветривания в сравнении со значениями, рассчитанными С. Л. Шварцевым [10] для степей с умеренным климатом, в среднем составляют 9. Совпадение цифр вполне удовлетворительное. Некоторые расхождения значениях объясняются различной методикой расчетов.

Положительный стороной примененного метода являются:

1) рассматривается целостная система без отрыва ее составляющих (газовой, жидкой и твердой фаз);

2) прослеживаются изменения всех элементов как жидкой, таак и твердой фазы без ограничения на их количество;

3) можно изменять параметры твердой, жидкой и газовой фазы; недостатком используемого метода является то, что отслеживается конечная стадия развития системы, то есть когда она уже пришла к равновесию без промежуточных данных.

Финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства промышленности и строительства Республики Казахстан (BR25193273 “Региональная оценка и картирование подземного стока как основа для уточнения прогнозных ресурсов подземных вод в условиях дефицита поверхностных водных ресурсов”).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] The United Nations World Water Development Report 2022: Groundwater: Making the invisible visible. – UNESCO, Paris.
- [2] Non-renewable groundwater resources. A guidebook on socially-sustainable management for water-policy makers // IHP-VI, Series on Groundwater. No. 10. – UNESCO. 2006. – 104 с.
- [3] Zektser I. S., Everett L. G. (eds.), 2004. Groundwater resources of the world and their use // UNESCO, IHP-VI. Series on Groundwater. – No 6. – Paris, UNESCO. – 346 с.
- [4] Margat J., J. van der Gun. Groundwater around the World // CRC Press/Balkema. International Standard Book Number – 13: 978-0-203-77214-0 (eBook – PDF). 2013. – 372 p.
- [5] Basharat U., Zhang W., Abbasi A., Mahroof S., Han C., Khan S. H., Li S. Integrated assessment of groundwater hydrogeochemistry and quality using multivariate statistical analysis, self-organizing maps, and water quality indices in District Bagh, AJK, Pakistan // *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 301, 2025. – <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2025.118515>
- [6] Шварцев С.Л., Пинеcker Е.В., Перельман А.И. и др. Основы гидрогеологии. Гидрогеохимия. – Новосибирск, 1982. – 284 с.
- [7] Зверев В. П. Роль подземных вод в миграции химических элементов. – М.: Недра, 1982. – 184 с.
- [8] Перельман А. И. Геохимия элементов в зоне гипергенеза. – М.: Недра, 1972. – 298 с.
- [9] Пинеcker Е. В. Проблемы региональной гидрогеохимии. Закономерности распространения и формирования подземных вод. – М.: Недра, 1977. – 196 с.
- [10] Шварцев С. Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза. – М.: Недра, 1978. – 287 с.
- [11] Åberg A. K., Korkka-Niemi K., Åberg S. C., Rautio A. Application of 3D hydrogeochemistry and particle tracking in detecting groundwater flow patterns within an aapa mire–outwash plain system in a boreal environment at a mining development site // *Applied Geochemistry*. – 2025. – Vol. 186. – <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2025.106360>
- [12] Рациональное использование и охрана подземных вод Республики Казахстан в условиях климатических и антропогенных изменений / Под. ред. Абсаметова М. К. – Алматы, 2020. – 280 с.
- [13] Атлас гидрогеологических карт Республики Казахстан. – Алматы: Ин-т гидрогеологии и геоэкологии им. У. М. Ахмедсафина, 2022. – 83 с.
- [14] UNESCO, CGMW, IAH, IAEA & BGR, 2008 // Groundwater Resources of the World, 1: 25 M (WHYMAP). UNESCO & BGR, Paris, Hannover.
- [15] IGRAC, 2009. Map of Global Groundwater Regions (revised 29 April 2009, after the original version of 2004).
- [16] Абсаметов М. К. Геохимия подземных вод Балхашского сегмента земной коры Центрального Казахстана. – Алматы: НИЦ «Ғылым», 2002. – 252 с.
- [17] Mischke S., Zhang C.J., Plessen B. Lake Balkhash (Kazakhstan): Recent human impact and natural variability in the last 2900 years // *J Great Lakes Res* 46:267–276/, 2020. – <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2020.01.008>
- [18] Zhang A., Wilson D., Ptacek C.J., Blowes D.W. Reactive transport modelling of tailings hydrogeochemistry under a composite cover // *J. Contam. Hydrol.* 2024. 261. <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2023.104290>
- [19] Burri E., Pettitta M. Runoff drainage, groundwater exploitation and irrigation with underground channels in Cappadocia: Meskendir Valley case-study // *J. Cult. Herit.* 2005, 6, 191-197.
- [20] Chen J., Fan P., Zhang F., Tan T., Fang N., Wu Z., Li Zh., Liu Y. Distribution mechanisms of soil surface erosion and underground leakage in karst areas of China: A systematic, quantitative review // *CATENA*. – 2024. – Vol. 246. – <https://doi.org/10.1016/j.catena.2024.108466>
- [21] Зекцер И. С., Джамалов Р. Г., Месхетели А. В. Подземный водообмен суши и моря. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 207 с.

REFERENCES

- [1] The United Nations World Water Development Report 2022: Groundwater: Making the invisible visible. UNESCO, Paris.
- [2] Non-renewable groundwater resources. A guidebook on socially-sustainable management for water-policy makers. IHP-VI, Series on Groundwater. No. 10. UNESCO. 2006. 104 p.
- [3] Zektser I.S., Everett L.G. (eds.), 2004. Groundwater resources of the world and their use // UNESCO, IHP-VI. Series on Groundwater. No 6. Paris, UNESCO. 346 p.
- [4] Margat J., J. van der Gun. Groundwater around the World // CRC Press/Balkema. 372 p. International Standard Book Number. 13: 978-0-203-77214-0 (eBook – PDF). 2013.
- [5] Basharat U., Zhang W., Abbasi A., Mahroof S., Han C., Khan S. H., Li S. Integrated assessment of groundwater hydrogeochemistry and quality using multivariate statistical analysis, self-organizing maps, and water quality indices in District Bagh, AJK, Pakistan // *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 301, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2025.118515>
- [6] Shvartsev S. L., Pinecker E.V., Perelman A.I. et al. Novosibirsk Fundamentals of Hydrogeology. Hydrogeochemistry, 1982. 284 p. (in Russ.).

- [7] Zverev V. P. The Role of Groundwater in Atmospheric Elements. Moscow: Nedra, 1982. 184 p (in Russ.).
- [8] Perelman A. I. Elements of Geochemistry in the Study of Hypergenesis. Moscow: Nedra, 1972. 298 p (in Russ.).
- [9] Pinekker E. V. Problems of Regional Hydrogeochemistry. Patterns of Distribution and Formation of Groundwater. Moscow: Nedra, 1977. 196 p. (in Russ.).
- [10] Shvartsev S. L. Hydrogeochemistry of the Hypergenesis Zone. Moscow: Nedra, 1978. 287 p. (in Russ.).
- [11] Åberg A. K., Korkka-Niemi K., Åberg S. C., Rautio A. Application of 3D hydrogeochemistry and particle tracking in detecting groundwater flow patterns within an aapa mire–outwash plain system in a boreal environment at a mining development site // *Applied Geochemistry*. 2025. Vol. 186. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2025.106360>
- [12] Rational Use and Protection of Groundwater in the Republic of Kazakhstan in the Context of Climate and Anthropogenic Change / Ed. Absametov M. K. Almaty, 2020. 280 p. (in Russ.).
- [13] Atlas of Hydrogeological Maps of the Republic of Kazakhstan. Almaty: Institute of Hydrogeology and Geoecology named after U. M. Akhmedsafin, 2022. 83 p. (in Russ.).
- [14] UNESCO, CGMW, IAH, IAEA & BGR, 2008 // Groundwater Resources of the World, 1:25 M (WHYMAP). UNESCO and BGR, Paris, Hannover.
- [15] IGRAC, 2009. Map of Global Groundwater Regions (revised on 29 April 2009 after the initial version of 2004).
- [16] Absametov M. K. Geochemistry of groundwater of the Balkhash segment of the earth's crust of Central Kazakhstan. Almaty: NIC "Gylym", 2002. 252 p. (in Russ.).
- [17] Mischke S., Zhang C.J., Plessen B. Lake Balkhash (Kazakhstan): Recent human impact and natural variability in the last 2900 years // *J Great Lakes Res* 46:267–276/, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2020.01.008>
- [18] Zhang A., Wilson D., Ptacek C.J., Blowes D.W. Reactive transport modelling of tailings hydrogeochemistry under a composite cover // *J. Contam. Hydrol.* 2024, 261, <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2023.104290>
- [19] Burri E., Petitta M. Runoff drainage, groundwater exploitation and irrigation with underground channels in Cappadocia: Meskendir Valley case-study // *J. Cult. Herit.* 2005, 6, 191\197.
- [20] Chen J., Fan P., Zhang F., Tan T., Fang N., Wu Z., Li Zh., Liu Y. Distribution mechanisms of soil surface erosion and underground leakage in karst areas of China: A systematic, quantitative review // *CATENA*. 2024. Vol. 246. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2024.108466>
- [21] Zektser I. S., Dzhamalov R. G., Meskheteli A.V. Underground water exchange of land and sea. L.: Gidrometeoizdat, 1984. 207 p. (in Russ.).

**М. К. Абсаметов^{*1}, А. Ж. Жакибаева², К. Е. Кошпанова³,
Е. Ж. Муртазин⁴, Д. К. Аденова⁵**

^{1*} Геология және минералогия ғылымдарының докторы, профессор, Қазақстан Республикасы Ұлттық ғылым академиясының академигі, директор («У. М. Ахмедсафин атындағы гидрогеология және геоэкология институты») ЖШС, Алматы, Қазақстан; mabsametov@mail.ru

² Жер асты сулары ресурстары зертханасының кіші ғылыми қызметкері («У. М. Ахмедсафин атындағы гидрогеология және геоэкология институты») ЖШС, Алматы, Қазақстан; zhakibaeva8@gmail.com

³ Химиялық-аналитикалық зерттеулер зертханасының кіші ғылыми қызметкері («У. М. Ахмедсафин атындағы гидрогеология және геоэкология институты») ЖШС, Алматы, Қазақстан; kalamkas.koshpanova@mail.ru

⁴ Геология-минералогия ғылымдарының кандидаты, директордың ғылым жөніндегі орынбасары («У. М. Ахмедсафин атындағы гидрогеология және геоэкология институты») ЖШС, Алматы, Қазақстан; ye_murtazin@list.ru

⁵ PhD, гидродинамикалық және геоэкологиялық процестерді модельдеу зертханасының аға ғылыми қызметкері («У. М. Ахмедсафин атындағы гидрогеология және геоэкология институты») ЖШС, Алматы, Қазақстан; dinara1982_82@mail.ru

ОРТАЛЫҚ ҚАЗАҚСТАННЫҢ ГИДРОГЕОХИМИЯЛЫҚ АҒЫНЫ ЖӘНЕ ЭКЗОГЕНДЫҚ ПРОЦЕСТЕРДІҢ ДАМУЫНДАҒЫ РӨЛІ

Аннотация. Гидросфера мен литосфера арасындағы геохимиялық алмасуда жер асты сулары үлкен рөл атқарады. Гидрогеохимиялық ағынды суларды сандық бағалау үшін төрт ірі ішкі су объектілерінің бассейндеріне жататын 14 учаске анықталды, жер асты және жер үсті суларымен химиялық тазарту мөлшері, сондай-ақ атмосфералық жауын-шашынмен тұздардың енуі анықталды. Зерттелетін ауданда жер үсті ағындарының шектеулі таралуына байланысты жер асты сулары жер қыртысындағы заттардың қайта бөлінуінің негізгі механизмі болып табылады. Жер қыртысының жоғарғы бөлігіндегі тау жыныстары құрамындағы гравитациялық сулардың коректену аймақтарынан дренаждық жерлерге жылжу процесімен қатар тау-су жүйесінде жүретін әртүрлі физика-химиялық және биологиялық процестердің нәтижесінде жер асты суларына түсетін химиялық элементтердің миграциясы жүреді.

Түйін сөздер: Орталық Қазақстан гидрогеологиялық ауданы, жер асты ағыны, жер асты суларының химиялық құрамы, химиялық жою, жер асты химиялық денудация көрсеткіші, денудациялық өлшегіш.

**M. K. Absametov^{*1}, A. Zh. Zhakibaeva², K. Ye. Koshpanova³,
Ye. Zh. Murtazin⁴, D. K. Adenova⁵**

^{1*} Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Academician of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Director (LLP "Akhmedsafin Institute of Hydrogeology and Environmental Geoscience", Almaty, Kazakhstan; mabsametov@mail.ru)

² Junior Researcher, Laboratory of Groundwater Resources (LLP "Akhmedsafin Institute of Hydrogeology and Environmental Geoscience", Almaty, Kazakhstan; zhakibaeva8@gmail.com)

³ Junior Researcher, Laboratory of Chemical-Analytical Research (LLP "Akhmedsafin Institute of Hydrogeology and Environmental Geoscience", Almaty, Kazakhstan; kalamkas.koshpanova@mail.ru)

⁴ Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Deputy Director of Science (LLP "Akhmedsafin Institute of Hydrogeology and Environmental Geoscience", Almaty, Kazakhstan; ye_murtazin@list.ru)

⁵ PhD, Senior Researcher, Laboratory of Modeling of Hydrodynamic and Geoecological Processes (LLP "Akhmedsafin Institute of Hydrogeology and Environmental Geoscience", Almaty, Kazakhstan; dinara1982_82@mail.ru)

HYDROGEOCHEMICAL RUNOFF IN THE CENTRAL KAZAKHSTAN AND ITS ROLE IN THE DEVELOPMENT OF EXOGENOUS PROCESSES

Abstract. Groundwater plays a major role in geochemical exchanges between the hydrosphere and the lithosphere. For quantitative assessment of hydrogeochemical runoff, 14 areas related to the basins of four large inland water bodies were identified, the amount of chemical removal by groundwater and surface water, as well as the introduction of salts by atmospheric precipitation were determined. In the study area, due to the limited distribution of surface runoff, groundwater is the main mechanism in the redistribution of matter in the earth's crust. Along with the process of movement of gravitational waters contained in the rocks of the upper part of the earth's crust from the areas of nutrition to the places of drainage, there is a migration of chemical elements entering the groundwater as a result of various physicochemical and biological processes occurring in the rock-water system.

Keywords: Central Kazakhstan hydrogeological region, underground runoff, chemical composition of groundwater, chemical subtraction, underground chemical denudation index, denudation rate.