

*М.К. Абсаметов, Д.С. Сапарғалиев, В.А. Смоляр, Е.Ж. Муртазин, С.Р. Тажиев**

*Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У.М. Ахмедсафина, Satbayev University,
г. Алматы, Республика Казахстан, mabsametov@mail.ru, rgzgroup1@gmail.com,
v_smolyar@mail.ru, ye_murtazin@list.ru, sula_tashiev@mail.ru**

ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ РЕСУРСЫ ПОДЗЕМНЫХ ВОД КАЗАХСТАНА

Аннотация

В условиях нарастающего дефицита пресных вод и усиления климатических рисков особую актуальность приобретает оценка возобновляемых ресурсов подземных вод Казахстана. Согласно докладу ООН «Groundwater: Making the invisible visible» (2022), до 99% всей пресной воды на Земле составляют подземные воды, играющие ключевую роль в устойчивом развитии, продовольственной безопасности и адаптации к изменениям климата.

В мировой практике подземные воды рассматриваются как природный ресурс, практическую ценность которых обеспечивают главным образом их возобновляемые ресурсы, которые являются основным показателем ежегодного питания подземных вод, отражающим их основную особенность как возобновляемого полезного ископаемого, и характеризуют верхний предел возможного отбора подземных вод за многолетний период без их истощения. Они позволяют получить представление об обеспеченности того или иного региона подземными водами, установить соотношение ресурсов подземных и поверхностных вод и роль подземного стока в общем водном балансе.

В статье представлен обзор гидрогеологических особенностей Казахстана, включающего три крупных гидрогеологических региона – горно-складчатых сооружений, консолидированных горных структур и платформенных территорий. На основе обобщения данных региональных исследований, выполненных в 1960–2020-х гг., рассмотрены методы оценки возобновляемых ресурсов подземных вод, включающие гидрологический анализ, расчет по инфильтрации атмосферных осадков, гидрогеологическую аналогию и пространственное моделирование в среде ArcGIS.

Результаты сопоставления показали, что суммарные возобновляемые ресурсы подземных вод Казахстана по различным региональным оценкам варьируют в пределах 1,17–1,53 тыс. м³/с или 37–48 км³/год, при среднем слое подземного стока – 14–19 мм/год и модуле подземного стока – 0,45–0,6 л/с·км². Наибольшие значения характерны для горно-складчатых районов юга и востока страны, где подземный сток достигает до 80 мм/год, а наименьшие – для аридных регионов запада. Проведенная систематизация создает основу для уточнения национального водного баланса и совершенствования стратегий устойчивого управления подземными водами в Казахстане.

Ключевые слова: *возобновляемые ресурсы подземных вод, гидрогеологические регионы, региональная оценка, подземный сток, слой подземного стока, модуль подземного стока, Республика Казахстан.*

Введение

Актуальность проблемы водных ресурсов для государства регулярно отмечается Президентом К.-Ж. Токаевым в ежегодных Посланиях Главы государства народу Казахстана. Для эффективного развития водохозяйственной отрасли образовано Министерство водных ресурсов и ирригации, в рамках которого воссоздана Национальная гидрогеологическая служба.

Как отмечено в докладе ООН о состоянии водных ресурсов за 2022 г. ««Groundwater: Making the invisible visible», до 99% всей пресной воды на планете составляют подземные воды, которые неравномерно распределены по планете [1]. В международной практике

подземные воды 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 [2]. Последние служат важным резервом воды, делая режим отбора возобновляемых ресурсов менее зависимым от естественного ритма пополнения.

Подземные воды обладают потенциалом предоставить человечеству огромные социальные, экономические и экологические выгоды, включая адаптацию к изменению климата. Несмотря на свою огромную важность, этот природный ресурс часто плохо понимается и, следовательно, недооценивается, неправильно управляется и даже подвергается злоупотреблениям. В контексте растущего дефицита воды во многих частях мира огромный потенциал подземных вод и необходимость тщательного управления им больше нельзя игнорировать [1, 3-4].

Возобновляемые ресурсы подземных вод играют важную роль при оценке их ресурсного потенциала и представляют собой часть общих водных ресурсов, которая ежегодно возобновляется в процессе круговорота воды и обеспечивают постоянный подземный сток как составную часть круговорота воды. Подземный сток рассматривается как процесс перемещения подземных вод от области питания к области разгрузки под действием гидравлического напора или силы тяжести. Он является основным показателем ежегодного питания подземных вод, отражающим их основную особенность как возобновляемого полезного ископаемого, и характеризуют верхний предел возможного отбора подземных вод за многолетний период без их истощения. Возобновляемые ресурсы подземных вод позволяют получить представление об обеспеченности того или иного региона подземными водами, установить соотношение ресурсов подземных и поверхностных вод и роль подземного стока в общем водном балансе.

По международным оценкам, начиная с 70-х годов прошлого столетия, глобальный суммарный подземный сток на суше, варьирует в пределах 12,0-13,0 тыс. км³/год, или до 35% от глобального потока «голубой воды» - глобальные суммарные возобновляемые ресурсы поверхностных и подземных вод (примерно 37,0 тыс. км³/год) [1]. Для регионов аридного и сухого тропического (полузасушливого) климата доля годового подземного стока составляет около 2%, тогда как основная его часть распределяется между прохладно-умеренными и экваториально-тропическими влажными зонами почти в равных долях.

Национальные статистические данные по водным ресурсам отдельных государств с 1993 года систематически собираются и периодически обновляются в базе данных AQUASTAT FAO по водным ресурсам [4]. Собраны данные по 101 государству, которые занимают 92% суши планеты. Среднегодовой подземный сток учитывает только питание подземных вод за счет инфильтрации атмосферных осадков, происходящее на собственной территории. Глобальная картина слоя внутреннего подземного стока по странам отражена на рисунке 1. При экстраполяции региональных данных суммарный подземный сток оценен примерно в 12,0 тыс. км³/год [4].

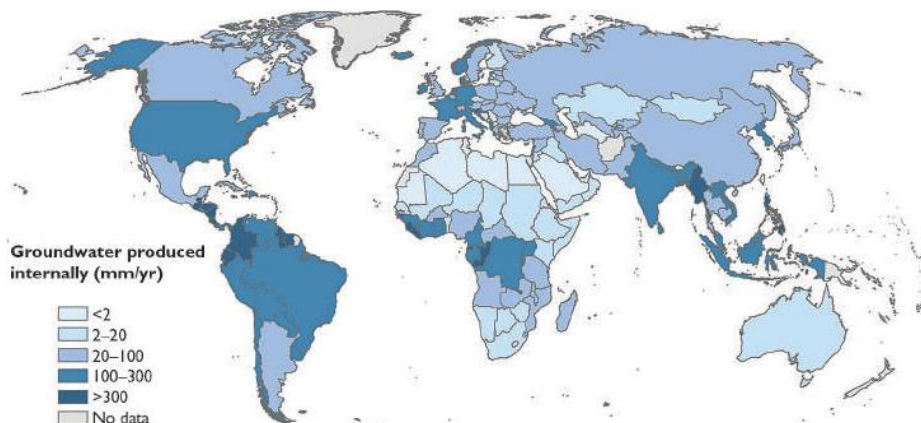


Рисунок 1 – Распределение стран по их среднегодовому внутреннему слою подземного стока, мм/год. (1 мм/год = 1 000 м³/год на км²). (AQUASTAT, 2011) [4]

Для территории Казахстана, по данным AQUASTAT, пределы изменений среднегодового слоя подземного стока оценены в 2-20 мм/год, при расчетном значении 2,2 мм/год и региональном подземном стоке в 6,1 км³/год [4], что значительно ниже национальных оценок [5-8].

Обзор гидрогеологических особенностей территории Казахстана

Республика Казахстан занимает значительную по площади территорию, которая охватывает природные зоны с различными физико-географическими характеристиками, сложными геолого-структурными особенностями и гидрогеологическими условиями. Это предопределило разнообразие факторов формирования ресурсов и качественного состава подземных вод, их количественных показателей и отразилось на их распределении по отдельным регионам. Своеобразие природно-климатических и геолого-структурных условий предопределило выделение трех крупных гидрогеологических регионов, различающихся особенностями формирования и распределения подземных вод (таблица 1) [6].

Таблица 1 – Гидрогеологическое районирование Казахстана

№пп	Гидрогеологические регионы	Провинции (системы бассейнов)	Площадь расчетная, тыс. км ²
	Системы бассейнов	Бассейны 1-го порядка	
1	Регион горно-складчатых сооружений с интенсивным проявлением неотектонических движений	Жетысу Алатау-Тяньшанская система	255,37
		Алтай-Тарбагатайская система	186,23
		Всего по региону	441,60
2	Регион консолидированных горноскладчатых сооружений	Уральский бассейн	52,25
		Центрально-Казахстанская система	717,34
		Всего по региону	769,59
3	Регион платформенных территорий	Прикаспийская система	408,54
		Западно-Сибирский бассейн	250,68
		Скифо-Туранская система	852,54
		Всего по региону	1511,76
Итого по Казахстану			2722,95

Регион горноскладчатых сооружений с интенсивным проявлением неотектонических движений занимает южную и юго-восточную части республики, охватывая горные хребты Северного Тянь-Шаня, Иле Алатау и Жетысу Алатау, Саур-Тарбагатай и Алтая. Площади распространения средне-высокогорного рельефа характеризуются формированием в основном безнапорных трещинных, реже трещинно-жильных и трещинно-карстовых вод. Межгорные и предгорные пространства занимают артезианские бассейны, пластовые воды которых связаны с рыхлыми осадочными образованиям мезо-кайнозоя.

Регион консолидированных горноскладчатых сооружений приурочен к территориям Центрально-Казахстанского мелкосопочника и Урало-Мугоджарской низкогорной системы. Здесь формируются трещинные, трещинно-карстовые и трещинно-жильные безнапорные воды. В наложенных структурах выявляются напорные трещинно-пластовые воды. Безнапорные поровые воды связаны с речными долинами.

Регион платформенных территорий занимает юго-западную, западную, северную и северо-восточную часть республики в пределах Прикаспийской впадины, Туранской и южной части Западно-Сибирской плиты. Регион характеризуется развитием осадочных артезианских бассейнов, в разрезе которых пластовые воды приурочены к разновозрастным морским и терригенным образованиям. Безнапорные воды связаны с аллювиальными, озерно-аллювиальными и эоловыми осадками.

Материалы и методы исследований

По территории Казахстана, к настоящему времени проведен определенный комплекс научных и практических исследований, посвященных изучению подземного стока. Исследования подземного стока в их современном понимании - комплексная гидролого-гидрогеологическая проблема, целью которой является изучение процессов формирования подземных и поверхностных вод в их единстве и взаимодействии. Оценка возобновляемых ресурсов подземных вод проводилась на локальных участках при поисково-разведочных работах на подземные воды, по отдельным регионам в пределах различных гидрогеологических районов, а также в целом по территории Казахстана.

В 60-е годы прошлого столетия реализованы региональные работы по изучению условий формирования, оценке и картированию подземного стока отдельных крупных регионов и территории СССР в целом. Исследования проводились большим количеством гидрогеологов и гидрологов Геологического факультета МГУ, ВСЕГИНГЕО, ГГИ, ГИДРОИНГЕО, Институтом гидрогеологии и гидрофизики АН Казахской ССР и рядом других научно-исследовательских и производственных организаций. В результате этих работ впервые в мировой практике для территории СССР произведена региональная количественная оценка основных параметров подземного стока и естественных ресурсов пресных подземных вод [9].

На территории Казахстана первая региональная оценка подземного стока и возобновляемых ресурсов подземных вод выполнена в 1961–1967 гг., когда учитывались главным образом размеры приходной части восполняемых ресурсов, хотя и не для всей территории. Методы оценки величины подземного стока определялись природно-геологическими условиями залегания, питания, характера дренирования подземных вод и состояния изученности расчетных параметров. Значения подземного стока определялись путем расчленения гидрографа общего стока в районах с широко развитой речной сетью; по суммарному родниковому стоку; по величине инфильтрации атмосферных осадков; по известной формуле Дарси, а также методами гидрогеологической аналогии [10-11]. Суммарная величина подземного стока оценена в 1,19 тыс. м³/с, объем подземного стока – 37,84 км³/год при средних слое подземного стока – 17,0 мм/год и модуле подземного стока – 0,45 л/с·км² [10].

Дальнейшие исследования по проблеме формирования подземных вод, проведенные коллективом Института гидрогеологии и гидрофизики АН КазССР при участии сотрудников Министерства геологии Казахстана, позволили уточнить условия и размеры их питания, транзита и разгрузки не только в зоне дренирования, но и в некоторых глубоких артезианских водоносных горизонтах. Величина подземного стока составила 1,53 тыс. м³/с при годовом стоке – 48,3 км³/год и при средних слое подземного стока – 18,0 мм/год и модуле подземного стока – 0,58 л/с·км² [12].

Использованы несколько методов. Определение фильтрационных потерь из русел и других поверхностных водотоков между двумя створами. Подобные условия характерны для предгорных равнин Южного и Восточного Казахстана. Определение величины инфильтрации атмосферных осадков по колебанию уровней грунтовых вод. Этот метод использовался для оценки подземного стока в песчаных пустынях Мойкумы, Кызылкумы, Сары-Ишик-Отрау, Приаральских Каракумах и других районах по которым имелись данные по режиму подземных вод. Определение величины инфильтрации атмосферных осадков с использованием уравнения в конечных разностях. Этот метод применялся для определения величины подземного стока на Волго-Жайыкском междуречье. Подземный сток определялся также по расходу подземного потока на всех предгорных шлейфах Северного Тянь-Шаня и Жетысу Алатау, в мелких межгорных впадинах структурно открытых в сторону более крупных впадин, на аллювиальных и пролювиальных предгорных равнинах Южного Казахстана. В ряде случаев использован метод аналогии, т.е. на основании анализа гидрогеологических условий идентичных территорий расчетные параметры, установленные опытным путем для определенного участка, переносились на районы, по которым такие данные отсутствовали.

В 70-х годах прошлого столетия при составлении многотомной монографии «Гидрогеология СССР» выполнена оценка естественных (возобновляемых) ресурсов подземных вод для отдельных регионов Казахстана (таблица 2) [13-15].

Наибольшая величина возобновляемых ресурсов характерна для Южного Казахстана – 746,5 м³/с (23,52 км³/год) при средних значениях слоя подземного стока – 50,2 мм/год и модуля подземного стока – 1,59 л/с·км². Для Западного Казахстана характерна наименьшая величина возобновляемых ресурсов подземных вод – 129,0 м³/с (4,05 км³/год) при средних значениях слоя подземного стока – 7,3 мм/год и модуля подземного стока – 0,23 л/с·км².

Таблица 2 – Результатах оценки естественных (возобновляемых) ресурсов подземных вод по регионам Казахстана (1970-1971 гг.) [13-15]

Регион	Расчетная площадь, тыс. км ²	Возобновляемые (естественные) ресурсы			
		Средний модуль стока, л/с на км ²	Средний слой стока, мм	Объем стока, млн. м ³ /год	Расход, м ³ /с
Западный Казахстан	547,0	0,23	7,3	4050,0	129,0
Центральный Казахстан	352,44	0,42	13,2	4659,3	147,9
Восточный Казахстан	254,34	1,54	48,7	12383,8	392,7
Южный Казахстан	468,1	1,59	50,2	23516,3	746,5

В 90-е годы прошлого века Институтом гидрогеологии и гидрофизики АН КазССР уточнено территориальное распределение возобновляемых ресурсов подземных вод по регионам и административных областям республики. Суммарная величина возобновляемых ресурсов оценена в 1,17 тыс. м³/с (36,97 км³/год) при средних значениях слоя подземного стока – 18,9 мм/год и модуля подземного стока – 0,60 л/с·км².

В 2022 году Институтом гидрогеологии и геоэкологии им. У.М. Ахмедсафина издан Атлас гидрогеологических карт Республики Казахстан, в котором карта естественных (возобновляемых) ресурсов создана путем оценки питания подземных вод за счет инфильтрации атмосферных осадков и фильтрации поверхностного стока, посредством составления карты коэффициентов подземного стока в % от величины осадков и карты подземного стока в % от величины общего речного стока. При совместном рассмотрении полученных значений подземного стока были рассчитаны возобновляемые ресурсы подземных вод с использованием инструмента, встроенного в ArcGIS – *Intersect*, входящего в группу *Analysis Tools*. Величина естественных (возобновляемых) ресурсов подземных вод Казахстана оценена в 1,22 тыс м³/с или 38,3 км³/год, при среднем модуле подземного стока - 0,45 л/с·км² и среднем слое подземного стока – 14,2 мм/год. Данное значение следует считать «предварительно-прогноznым».

Результаты и обсуждения

Приведенные результаты региональных оценок показывают, что суммарная величина возобновляемых ресурсов подземных вод Казахстана варьирует в пределах 37-48 км³/год. Для принятия оценочных значений использованы относительно наименьшие величины усредненного регионального слоя подземного стока для систем гидрогеологических бассейнов в составе крупных гидрогеологических регионов.

В составе региона горно-складчатых сооружений с интенсивным проявлением неотектонических движений выделены две системы бассейнов подземных вод.

Жетысу-Алатау-Тянь-Шаньская система бассейнов трещинных, трещинно-карстовых и пластовых вод приурочена к одноименным палеозойским складчатым системам, активно обновленным в новейшую эпоху и включающим ряд крупных межгорных впадин мезозойского или кайнозойского заложения. Согласно схеме районирования Международного центра оценки ресурсов подземных вод (IGRAC), территория относится к провинции «Тянь-Шаньский складчатый пояс» (25.04) глобального региона «Бассейны Центральной Азии» (25).

Выделяются Центрально-Тянь-Шаньский бассейн с региональным стоком на запад в систему р. Сырдарии и Сырдарьинский бассейн; Северо-Тянь-Шаньский с преобладающим региональным стоком на северо-запад в систему р. Шу и Шу-Сарысуский бассейн; Жетысу-Алатау - Балкашский с региональным стоком в бассейн Балкаш-Алаколь [7-9]. Территория представляет собой герцинское горно-складчатое сооружение, объединяющее группы горных хребтов и разделяющих их межгорных впадин.

Горные сооружения территории представлены в основном разновозрастными терригенными и эффузивными скальными породами, прорванными интрузиями. Межгорные впадины выполнены рыхлообломочными мезозой-кайнозойскими отложениями. Горные районы являются основной областью формирования поверхностных и подземных вод, участвующих в питании водоносных горизонтов межгорных впадин. По характеру размещения и условиям формирования подземных вод выделяются трещинные и трещинно-карстовые воды, а также поровые вод речных долин и межгорных впадин.

Водоносность допалеозойских и палеозойских пород определяется степенью их трещиноватости, закарстованности, наличием тектонических нарушений. Наиболее водообильные зоны приурочены к крупным тектоническим нарушениям и карстовым проявлениям в карбонатных породах. Питание подземных вод осуществляется в основном за счет атмосферных осадков, талых вод ледников и снежников. Области питания и распространения подземных вод совпадают.

Наиболее обводнены межгорные впадины, которые являются областью разгрузки и накопления подземных вод, поступающих с гор и предгорий путем подземного и поверхностного стока. Наибольший практический интерес представляют бассейны пластовых вод, приуроченные к крупным межгорным депрессиям: Южно-Балкашской, Алакольской и Копя-Илейской, выполненным мезозой-кайнозойскими осадочными образованиями. Верхняя часть разреза сложена рыхлообломочными осадками четвертичного возраста, в составе которых присутствуют хорошо проницаемые валунно-галечники, гравийно-галечники и пески, способствующие при благоприятных условиях питания образованию в них мощных потоков подземных вод.

Возобновляемые ресурсы подземных вод Жетысу-Алатау-Тянь-Шаньской системы бассейнов оценены в разные годы в пределах 0,42-0,59 тыс. м³/с или 13,2-18,7 км³/год при среднегодовых слое подземного стока – 56,7-81,3 мм/год и модуле подземного стока – 1,8-2,6 л/с·км² (таблица 3). В качестве оценочного варианта принято значение в 0,46 тыс. м³/с или 14,48 км³/год при среднегодовых слое подземного стока – 56,7 мм/год и модуле подземного стока – 1,8 л/с·км².

Алтай-Тарбагатайская система бассейнов трещинных и пластовых вод расположена в регионе новейших тектонических поднятий, в основании которых сочетаются крупные блоки герцинид, каледонид и байкалитид с наложенными разновозрастными впадинами, осадочный чехол которых выполнен породами от протерозойского до кайнозойского возраста. Поверхность переработанного в новейшее время складчатого сооружения представляет собой систему горных хребтов, понижающихся и веерообразно расходящихся в северо-западном и северном направлениях. В этих же направлениях расходятся линии основных разломов и русла рек, принадлежащих системе р. Оби. По районированию IGRAC территория относится к провинции «Алтай-Саянская складчатая область» (24.01) глобального региона подземных вод «Горный пояс Центральной и Восточной Азии» (24).

По направленности подземного стока и гидрогеодинамическим условиям формирования подземных вод выделяются три бассейна безнапорных и напорных вод: Сауыр-Тарбагатайский со стоком в оз. Жайсан и оз. Алаколь; Жармино-Рудно-Алтайский со стоком в р. Ертис и Саяно-Алтайский со стоком в р. Обь [7-9, 14]. Подземные воды бассейна распространены повсеместно. Источником их питания являются атмосферные осадки и поверхностные воды.

Широкое развитие палеозойских пород обусловило доминирующее положение подземных вод, приуроченных к зоне экзогенной трещиноватости пород и к участкам интенсивного дробления вдоль тектонических нарушений. Поровые воды распространены в

речных долинах и межгорных впадинах, которые выполнены рыхлыми отложениями кайнозойского возраста.

Водоносность скальных пород определяется степенью их трещиноватости, закарстованности, наличием тектонических нарушений. Наиболее водообильные зоны приурочены к крупным тектоническим нарушениям и карстовым проявлениям в карбонатных породах. Питание подземных вод осуществляется в основном за счет атмосферных осадков, талых вод ледников и снежников. Области питания и распространения подземных вод совпадают. Межгорные впадины являются областью разгрузки и накопления подземных вод, поступающих с гор и предгорий путем подземного и поверхностного стока.

Таблица 3 – Сравнение результатов оценки возобновляемых ресурсов подземных вод бассейнов и систем бассейнов гидрогеологических регионов горно-складчатых сооружений Казахстана

Год оценки	Площадь оценки, тыс. км ²	Подземный сток		Средний слой подземного стока, мм/год	Средний модуль подземного стока, л/с·км ²
		м ³ /с	км ³ /год		
Жетысу Алатау-Тянь-Шанская система бассейнов					
1964	233,30	417,14	13,228	56,7	1,79
1970	225,86	463,68	14,693	65,1	2,05
1970-1971	229,64	588,87	18,676	81,3	2,56
1998	235,14	501,35	15,811	67,2	2,13
2022	244,31	505,30	15,935	65,2	2,07
Оценочный вариант	255,37	459,13	14,479	56,7	1,80
Алтай-Тарбагатайская система бассейнов					
1964	190,00	234,00	7,420	39,1	1,23
1970	190,40	381,57	12,099	63,5	2,00
1970-1971	226,4	318,77	10,109	44,6	1,41
1998	203,90	262,05	8,275	40,6	1,29
2022	185,40	139,89	4,412	23,8	0,75
Оценочный вариант	186,23	140,55	4,432	23,8	0,75
Уральский бассейн					
1964	47,00	21,49	0,682	14,5	0,46
1970	49,50	22,48	0,713	14,4	0,45
1970-1971	45,50	22,77	0,719	15,8	0,50
1998	45,50	27,85	0,878	19,3	0,61
2022	52,18	14,89	0,469	9,0	0,29
Оценочный вариант	52,25	23,86	0,752	14,4	0,46
Центрально-Казахстанская система бассейнов					
1964	702,70	198,61	6,298	9,0	0,28
1970	643,70	195,02	6,188	9,6	0,30
1970-1971	368,39	149,07	4,727	12,8	0,40
1998	347,77	155,38	4,903	14,1	0,45
2022	707,42	141,51	4,463	6,3	0,20
Оценочный вариант	717,34	204,72	6,456	9,0	0,29

Возобновляемые ресурсы подземных вод Алтай-Тарбагатайской системы бассейнов оценены в разные годы в пределах 0,14-0,38 тыс. м³/с или 4,4-12,1 км³/год при среднегодовых слое подземного стока – 23,8-63,5 мм/год и модуле подземного стока – 0,75-2,0 л/с·км² (таблица 3). В качестве оценочного варианта принято значение в 0,14 тыс. м³/с или 4,43 км³/год при среднегодовых слое подземного стока – 23,8 мм/год и модуле подземного стока – 0,75 л/с·км².

Для региона консолидированных горноскладчатых сооружений также выделены две системы бассейнов подземных вод.

Уральский бассейн приурочен к южной части Уральского поднятия и сложен сильно метаморфизованными и литифицированными породами палеозоя и протерозоя, гранитоидами и сланцами. По районированию IGRAC бассейн относится к провинции «Уральские горы» (11.08) глобального региона подземных вод «Низменности Европы» (11). Подземные воды

бассейна формируются за счет инфильтрации атмосферных осадков, фильтрации поверхностных вод, а также перетока вод из смежных водоносных горизонтов и зон трещиноватости. Разгрузка подземных вод происходит у подножья горных массивов, в бессточных впадинах и в речные долины.

Наиболее обводнены палеозойские породы, водообильность которых определяется степенью их трещиноватости. Практическое значение имеют подземные воды аллювиальных отложений, распространенных в речных долинах, а также водоносные горизонты и комплексы неогеновых, палеогеновых, меловых и юрских отложений, получившие распространение в пределах наложенных мульд.

Возобновляемые ресурсы подземных вод Уральского бассейна оценены в разные годы в пределах 0,015-0,028 тыс. м³/с или 0,47-0,88 км³/год при среднегодовых значениях слоя подземного стока – 9-19,3 мм/год и модуле подземного стока – 0,3-0,6 л/с·км² (таблица 3). В качестве оценочного варианта принято значение в 0,024 тыс. м³/с или 0,75 км³/год при среднегодовых слое подземного стока – 14,4 мм/год и модуле подземного стока – 0,46 л/с·км² (таблица 4).

Центрально-Казахстанская система бассейнов трещинных и пластовых безнапорных и напорных вод приурочена к Центрально-Казахстанской складчатой области, сложенной в основном каледонидами с подчиненными блоками герцинид, включая выступы древних докаледонских блоков, сложенных кристаллическими и метаморфическими породами архея и протерозоя. По районированию IGRAC территория относится к провинции «Центрально-Казахстанская складчатая область» (25.01) глобального региона подземных вод «Бассейны Центральной Азии» (25) [7-9, 14]. Выделяются пять гидрогеологических бассейнов, отличающихся друг от друга направленностью и характером региональной разгрузки подземных вод: Шынғыс-Кокшетауский; Тениз-Коргалжынский; Улытау-Жезказганский; Прибалкашский и Шу-Илейский. В формировании подземных вод территории наблюдаются некоторые общие закономерности, обусловленные широтной и высотной зональностью. По условиям широтной зональности северо-западная часть региона относится к зоне степей, а юго-восточная – к зоне сухих степей. На возвышенных участках рельефа распространены лесные и лесостепные ландшафты, которым соответствуют более благоприятные условия формирования пресных вод. Кроме того, возвышенные участки рельефа характеризуются хорошей водопроницаемостью зоны аэрации. Выходы на поверхность скальных трещиноватых пород создают благоприятные условия для инфильтрации атмосферных осадков и фильтрации поверхностного стока по трещинам, а расчлененность рельефа, в свою очередь, способствует интенсивной циркуляции подземных вод и облегчает их разгрузку.

В гидрогеологическом отношении система бассейнов характеризуется широким развитием подземных вод зоны трещиноватости, приуроченных к верхней наиболее трещиноватой части зоны выветривания скальных пород. Напорные трещинные воды, тяготеют к глубоким тектоническим зонам. В зависимости от размеров и раскрытости трещин изменяется водообильность отдельных разностей пород. Наиболее водообильны породы наложенных верхнепалеозойских структур – известняки, песчаники, алевролиты. В известняках формируются преимущественно пресные воды. Для комплекса пород архея и протерозоя характерно формирование пресных вод. В породах нижнего палеозоя наряду с преимущественно пресными водами распространены и воды повышенной минерализации. Для обнаженных интрузивных массивов характерно формирование пресных подземных вод. Тектонические нарушения имеют различное гидрогеологическое значение, что определяется возрастом, характером трещиноватости и степенью выветрелости пород в зонах смятия. Поровые подземные воды приурочены к современным и древним речным долинам.

Возобновляемые ресурсы подземных вод Центрально-Казахстанской системы бассейнов оценены в разные годы в пределах 0,14-0,20 тыс. м³/с или 4,46-6,3 км³/год при среднегодовых значениях слоя подземного стока – 6,3-14,1 мм/год и модуле подземного стока – 0,2-0,45 л/с·км² (таблица 3). В качестве оценочного варианта принято значение в 0,20 тыс. м³/с или 6,46

км³/год при среднегодовых слое подземного стока – 9,0 мм/год и модуле подземного стока – 0,29 л/с·км² (таблица 5).

В пределах региона платформенных территорий расположены три системы бассейнов подземных вод.

Прикаспийская система бассейнов пластовых безнапорных и напорных вод входит в состав Восточно-Европейского платформенного региона, отличительной чертой которого является блоковое строение фундамента, унаследованное его чехлом. Прикаспийская впадина относится к наиболее четко выраженным отрицательным структурам. По районированию IGRAC территория относится к юго-восточной части провинции «Русская платформа» (11.08) глобального региона подземных вод «Низменности Европы» (11). В казахстанской части Русской платформы выделяются следующие бассейны: Восточно-Русский; Предуральский и Прикаспийский [7-9, 14].

В геологическом разрезе чехла впадины выделяется два структурных яруса. Границей между ними служит подошва кунгурских соленосных отложений с большой мощностью соли, измеряемой тысячами метров в центре бассейна. Нижний ярус представлен крупными платформенными подсолевыми структурами палеозойского возраста, верхний - надсолевыми структурами мезозой-кайнозойского комплекса. Основные структуры надсолевого комплекса - пологие прогибы и поднятия. Новейшая тектоника в сочетании с соляно-купольной активно проявилась в восточной Приуральской части бассейна, где на поверхность выходят отложения нижнего мела и юры. Соляные купола в сочетании с инверсионными бессточными котловинами являются основными очагами разгрузки напорных вод. На описываемой территории подземные воды приурочены к четвертичным, плиоценовым, палеоцен-эоценовым, меловым, юрским, триасовым и палеозойским породам.

В питании подземных вод территории участвуют атмосферные осадки и фильтрующиеся воды постоянных и временных водотоков. Разгрузка осуществляется путем перетекания из нижележащих в вышележащие водоносные горизонты по зонам тектонических нарушений. Частично подземные воды разгружаются в виде родников в бортах речных долин, балок и логов. Наибольшее значение в регионе имеют *подземные* речных долин и в первую очередь р. Жайык, и песчаных массивов. Широко распространены подземные воды плиоценовых отложений. Водоносные горизонты палеоцен-эоценовых, верхне- и нижнемеловых отложений развиты повсеместно, на отдельных участках выходят на поверхность, где получают инфильтрационное питание.

Возобновляемые ресурсы подземных вод Прикаспийской системы бассейнов оценены в разные годы в пределах 0,05-0,09 тыс. м³/с или 1,6-2,9 км³/год при среднегодовых значениях слоя подземного стока – 3,9-8,2 мм/год и модуле подземного стока – 0,12-0,26 л/с·км² (таблица 4). В качестве оценочного варианта принято значение в 0,08 тыс. м³/с или 2,53 км³/год при среднегодовых слое подземного стока – 6,2 мм/год и модуле подземного стока – 0,20 л/с·км².

Западно-Сибирский бассейн пластовых безнапорных и напорных вод приурочен к крайне южной части Западно-Сибирской плиты, которая представляет собой слабо дифференцированную депрессию, выполненную осадочным чехлом, доплитным терригенно-карбонатным и терригенным комплексами пород от палеозоя до триаса и плитным комплексом мезозоя и кайнозоя. В геологическом разрезе осадочного чехла отмечаются два региональных водоупора: палеогеновый и нижневаланжин-верхнеюрский, разделяющие мезозой-кайнозойскую толщу на два гидрогеологических этажа. Территория отнесена по районированию IGRAC к глобальному региону подземных вод «Западно-Сибирская плита» (20) и двум провинциям: «Западно-Сибирский бассейн» (20.02) и «Тургайский прогиб» (20.03), которые представляют собой низкие и умеренно возвышенные равнины.

Бассейн сложен рыхлыми образованиями юры, мела, палеогена и маломощным покровом пород четвертичного возраста [7-9, 14]. Мощность каждого горизонта увеличивается от границ Казахстанского мелкосопочника в северном и северо-восточном направлениях. Общая мощность мезозой-кайнозоя у северной границы Казахстана достигает 2000–3000 м. Безнапорные воды тяготеют к верхней части разреза и распространены

преимущественно в плиоценовых и четвертичных отложениях различного генезиса (аллювиальные и озерно-аллювиальные). На междуречьях развит водоносный горизонт олигоценовых отложений. Широко развит напорный водоносный горизонт меловых отложений.

Таблица 4 – Сравнение результатов оценки возобновляемых ресурсов подземных вод бассейнов и систем бассейнов гидрогеологического региона платформенных территорий Казахстана

Год оценки	Площадь оценки, тыс. км ²	Подземный сток		Средний слой подземного стока, мм/год	Средний модуль подземного стока, л/с·км ²
		м ³ /с	км ³ /год		
Прикаспийская система бассейнов					
1964	357,00	92,27	2,926	8,2	0,26
1970	385,00	88,63	2,811	7,3	0,23
1970-1971	365,00	84,20	2,635	7,2	0,23
1998	428,60	84,68	2,669	6,2	0,20
2022	408,29	50,92	1,606	3,9	0,12
Оценочный вариант	408,54	80,32	2,533	6,2	0,20
Западно-Сибирский бассейн					
1964	219,00	35,22	1,117	5,1	0,16
1970	172,00	59,25	1,879	10,9	0,34
1998	173,65	75,13	2,369	13,6	0,43
2022	250,68	109,62	3,457	13,8	0,44
Оценочный вариант	250,68	86,64	2,732	10,9	0,35
Скифо-Туранская система бассейнов					
1964	450,50	172,84	5,481	12,2	0,38
1970	492,40	167,44	5,310	10,8	0,34
1970-1971	381,50	195,97	6,214	16,3	0,51
1998	516,90	157,86	4,981	9,6	0,31
2022	850,71	253,67	8,000	9,4	0,30
Оценочный вариант	852,54	254,12	8,014	9,4	0,30

Бассейн сложен рыхлыми образованиями юры, мела, палеогена и маломощным покровом пород четвертичного возраста [7-9, 14]. Мощность каждого горизонта увеличивается от границ Казахстанского мелкосопочника в северном и северо-восточном направлениях. Общая мощность мезозой-кайнозоя у северной границы Казахстана достигает 2000–3000 м. Безнапорные воды тяготеют к верхней части разреза и распространены преимущественно в плиоценовых и четвертичных отложениях различного генезиса (аллювиальные и озерно-аллювиальные). На междуречьях развит водоносный горизонт олигоценовых отложений. Широко развит напорный водоносный горизонт меловых отложений.

Возобновляемые ресурсы подземных вод Западно-Сибирского бассейна оценены в разные годы в пределах 0,035-0,11 тыс. м³/с или 1,1-3,46 км³/год при среднегодовых значениях слоя подземного стока – 5,1-13,8 мм/год и модуле подземного стока – 0,16-0,44 л/с·км² (таблица 4). В качестве оценочного варианта принято значение в 0,087 тыс. м³/с или 2,73 км³/год при среднегодовом слое подземного стока – 10,9 мм/год и модуле подземного стока – 0,35 л/с·км².

Скифо-Туранская система бассейнов пластовых и блоково-пластовых вод, охватывает эпипалеозойскую плиту, располагающуюся в периферийной части древней Восточно-Европейской платформы. В строении фундамента плиты участвуют отдельные блоки древних платформ байкальского и добайкальского возраста. Платформенный осадочный чехол выполнен доплитным и плитным комплексами пород. Доплитный комплекс сформирован различными отложениями палеозоя, триаса и средней юры, которые участвуют в строении эпипалеозойских складчатых поясов Тянь-Шаня и рифтовой зоны Мангыстау. Плитный комплекс пород представлен практически всеми типами платформенных формаций мезозоя и

кайнозой, начиная с нижней юры. Мощность плитного комплекса в среднем составляет 2,5–4 км. Бассейны пластовых вод приурочены к крупным отрицательным структурам фундамента. По районированию IGRAC территория относится к глобальному региону подземных вод «Бассейны Центральной Азии» (25). Выделены пять бассейнов безнапорных и напорных вод: Мангыстауский, Устиртский, Амударинский, Сырдаринский и Приарало-Торгай-Шу-Сарысуский [7-9, 14].

Мангыстауский бассейн пластовых напорных и безнапорных вод приурочен к одноименной системе дислокаций, расположенной в западной части Туранской плиты. Отличительной чертой бассейна является значительная (до 7 км) мощность метаморфизованных пород пермо-триасового комплекса. Бассейн представляет собой местную область инфильтрационного питания ряда водоносных горизонтов. Практический интерес представляют поровые безнапорные воды песчаных массивов. Водоносные горизонты альб-сеноманских, юрских и триасовых отложений выходят на поверхность по периферии и в возвышенной части Горного Мангыстау. По мере погружения подземные воды этих горизонтов приобретают напор, а их минерализация возрастает.

Устиртский бассейн пластовых и порово-пластовых безнапорных и напорных вод расположен на северо-западе Туранской плиты. Осадочный чехол бассейна сложен доплитным пермо-триасовым комплексом и плитным юрско-четвертичным, содержащими подземные воды. Мощность осадочного чехла бассейна в прогибах достигает 4 тыс. м, в сводах положительных структур – 1–2 км. В бассейне выделяются водоносные горизонты и комплексы в четвертичных, миоценовых, палеогеновых, меловых, юрских и пермо-триасовых отложениях. Практический интерес представляют поровые безнапорные воды песчаных массивов и речных долин. Подземные воды миоценового горизонта приурочены к карбонатным трещиноватым, на отдельных участках закарстованным породам плато Устирта. Наиболее широко в бассейне развиты напорные подземные воды альб-сеноманских отложений, основными областями питания которых являются предгорья Горного Мангыстау, Мугалжар и Куландинская антиклиналь, где меловые образования выходят на дневную поверхность или перекрыты маломощным чехлом более молодых водопроницаемых отложений.

Амударинский бассейн пластовых и порово-пластовых безнапорных и напорных вод занимает огромную территорию по обеим сторонам Амударии вместе с ее обширными древней и современной дельтами. На территорию Казахстана заходит лишь незначительная часть данного бассейна. Широко распространены подземные воды сарматских карбонатных отложений, представляющих интерес для отгонного животноводства.

Сырдаринский бассейн пластовых и блоково-пластовых безнапорных и напорных вод расположен в тектонической депрессии, к которой приурочена широкая долина нижнего течения р. Сырдарии между выходом ее за пределы Ферганской долины и Аральским морем. Бассейн выполнен слабодислоцированными мезозойскими и кайнозойскими породами, которые подстилаются сильно метаморфизованными и складчатыми отложениями палеозойского возраста. Глубина погружения фундамента изменяется от 500 до 2000 м. Региональный палеогеновый водоупор разделяет мезозойско-кайнозойский чехол на два гидрогеодинамических этажа – верхний безнапорно-субнапорных вод неоген-четвертичного возраста и нижний – напорных нисходяще-восходящих вод [7-9]. Основные ресурсы подземных вод приурочены к четвертичным аллювиальным, неоген-четвертичным и меловым водоносным комплексам, разделенным между собой палеоцен-миоценовым региональным водоупором.

Практическое значение имеет водоносный горизонт четвертичных аллювиальных отложений, которые формируют поймы и надпойменные террасы всех современных водотоков. Водоносный горизонт четвертичных аллювиально-пролювиальных отложений развит в основном в предгорьях Каратау и на Голодностепской террасе. Практически на всей территории развит водоносный горизонт плиоцен-четвертичных отложений, которые с поверхности перекрыты эоловыми песками, способствующими накоплению

инфильтрационных вод. Наиболее перспективны и доступны для освоения водоносных горизонты верхнетурон-сенонских и альб-сеноманских отложений

Приарало-Торгай-Шу-Сарысуский бассейн пластовых безнапорных и напорных вод приурочен к одноименным прогибам. Мощность осадочного чехла достигает 1,5–3 тыс. м. Региональным водоупором являются палеогеновые глины. К долинам рек и временных водотоков приурочен водоносный горизонт четвертичных аллювиальных отложений. К предгорьям Кыргызского и Таласского Алатау распространены водоносные горизонты четвертичных аллювиально-пролювиальных отложений. На отдельных плато развит водоносный горизонт олигоцена. Практический интерес представляют также напорные пластовые воды меловых отложений.

Возобновляемые ресурсы подземных вод Скифско-Туранская системы бассейнов оценены в разные годы в пределах 0,16-0,25 тыс. м³/с или 5,0-8,0 км³/год при среднегодовых значениях слоя подземного стока – 9,4-16,3 мм/год и модуле подземного стока – 0,3-0,5 л/с·км² (таблица 4). В качестве оценочного варианта принято значение в 0,087 тыс. м³/с или 2,73 км³/год при среднегодовых слое подземного стока – 10,9 мм/год и модуле подземного стока – 0,35 л/с·км².

В целом, суммарные возобновляемые ресурсы подземных вод Казахстана по результатам оценочных вариантов для систем бассейнов и бассейнов гидрогеологических регионов составляют 1,25 тыс. м³/с или 39,4 км³/год при средних величинах слоя подземного стока 14,5 мм/год и модуля подземного стока 0,46 л/с·км² (таблица 4).

Распределение возобновляемых ресурсов по регионам, системам бассейнов и бассейнам представлено в таблице 5 и на рисунке 2. Наибольшая их часть формируется в регионе горно-складчатых сооружений с интенсивным проявлением неотектонических движений – 48%, в том числе, в пределах Жетысу-Алатау-Тянь-Шаньской системе бассейнов – 36,8%.

На территории региона платформенных территорий формируется 33,7% возобновляемых ресурсов подземных вод, в том числе в пределах Скифо-Туранской системы бассейнов – 20,3%.

Среднегодовые величины слоя подземного стока в различных регионах варьирует в пределах 8,8-42,8 мм/год, а модуля подземного стока -0,28-1,36 л/с·км². Наибольшие значения характерны для горно-складчатых сооружений.

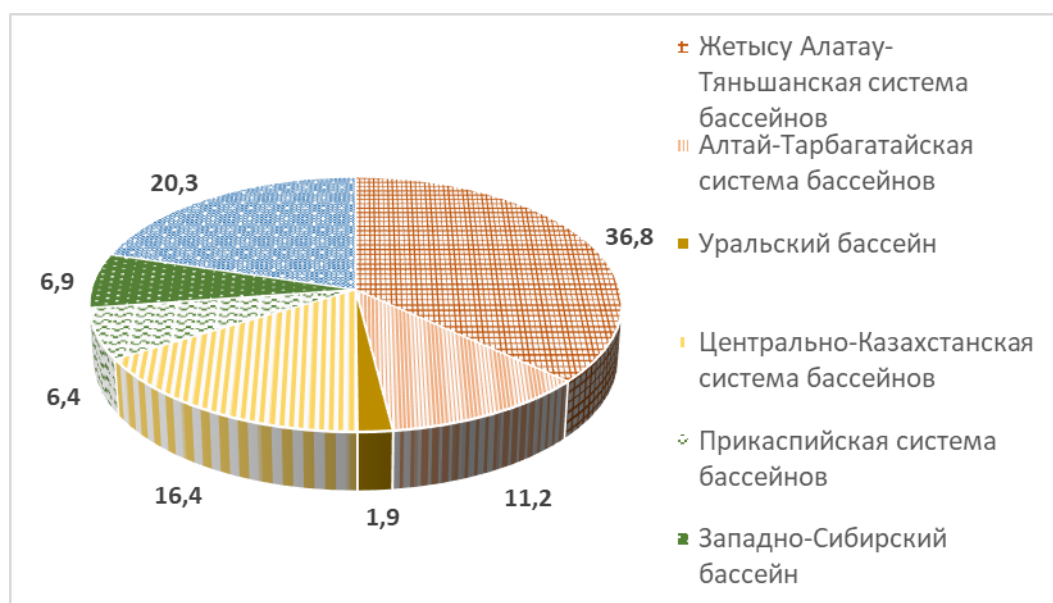


Рисунок 2 – Распределение возобновляемых ресурсов подземных вод Казахстана по гидрогеологическим районам, %

Таблица 5 – Возобновляемые ресурсы подземных вод Казахстана по результатам оценочных вариантов

№ № пп	Гидрогеологическ ие регионы	Провинции	Площад ь оценки, тыс. км ²	Подземный сток		Средний слой подземног о стока, мм/год	Средний модуль подземног о стока, л/с·км ²
	Системы бассейнов	Бассейны 1-го порядка		м ³ /с	км ³ /год		
1	Регион горно- складчатых сооружений с интенсивным проявлением неотектонических движений	Жетысу Алатау- Тянь-Шанская система	255,37	459,13	14,479	56,7	1,80
		Алтай- Тарбагатайская система	186,23	140,55	4,432	23,8	0,75
		Всего по региону	441,60	599,68	18,912	42,8	1,36
2	Регион консолидированн ых горно- складчатых сооружений	Уральский бассейн	52,25	23,86	0,752	14,4	0,46
		Центрально- Казахстанская система	717,34	204,72	6,456	9,0	0,29
		Всего по региону	769,59	228,58	7,208	9,4	0,30
3	Регион платформенных территорий	Прикаспийская система	408,54	80,32	2,533	6,2	0,20
		Западно-Сибирский бассейн	250,68	86,64	2,732	10,9	0,35
		Скифо-Туранская система	852,54	254,12	8,014	9,4	0,30
		Всего по региону	1511,76	421,08	13,279	8,8	0,28
Итого по Казахстану			2722,95	1249,3	39,4	14,5	0,46

Выводы

Суммарный средний многолетний поверхностный сток рек и временных водотоков Казахстана, с учетом современных водозаборов Китайской Народной Республикой из рек Ертис и Иле, оценивается в 100,58 км³ [15]. Суммарный сток поверхностных и подземных вод (поток «голубой воды» воды) составляет 140,0 км³/год, при этом доля подземных вод определяется в 28%. На территории республики формируется 55,94 км³/год возобновляемых ресурсов поверхностных вод, то есть средний внутренний годовой поток «голубой воды» оценивается в 95,34 км³, а доля возобновляемых ресурсов подземных вод оценивается в 41%. Тем самым, ресурсный потенциал подземных вод при возрастающем дефиците «голубой воды» для отечественного сельского хозяйства нельзя недооценивать и игнорировать.

При повышении спроса на пресные подземные воды величина подземного стока требует дальнейшего уточнения с учетом влияния глобальных климатических изменений. Требуется дополнительная информация об источниках формирования возобновляемых ресурсов и относительно достоверные климатические модели.

Благодарность. Данное исследование финансируется Министерством водных ресурсов и ирригации Республики Казахстан (BR 23791322 «Научно-техническое обеспечение сохранения, воспроизводства и эффективного распределения водных ресурсов для обеспечения водной безопасности РК»).

Список литературы

1. The United Nations World Water Development Report 2022. Groundwater: Making the invisible visible. UNESCO, Paris. <https://www.unesco.org/reports/wwdr/2022/en>.
2. Non-renewable groundwater resources. A guidebook on socially-sustainable management for water-policy makers. – UNESCO, IHP-VI, Series on Groundwater. – 2006. – №10. – P. 104. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf00000146997>.

3. Zektser, I.S., L.G. Everett (eds). Groundwater resources of the world and their use. – UNESCO, IHP-VI, Series on Groundwater. – 2004. – №6, – P. 346. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000134433>.
4. Margat, J., J. van der Gun. Groundwater around the World. – CRC Press, Balkema. – 2013. – P. 372. https://hydrology.nl/images/docs/alg/Groundwater_around_world.pdf.
5. Tazhiyev, S., Murtazin, Ye., Sotnikov, Ye., Rakhimova, V., Abdizhalel, M., Yerezhep, D., Adenova, D. Geoinformation and Analytical Support for the Development of Promising Aquifers for Pasture Water Supply in Southern Kazakhstan. – *Water*. – 2025. – Vol. 17(9). – P. 1297. <https://doi.org/10.3390/w17091297>.
6. Dyuisenkhan, A., Zhaparkulova, Ye., Issakov, Ye., Mirdadayev, M., Aldiyarova, A., Kaipbayev, Ye., Kalmashova, A., Zhoya, K., Kai Zhu, Lóránt Dénes Dávid. The possibility of using groundwater and collector-drainage water to increase water availability in the Maktaaral district of the Turkestan region of Kazakhstan. – *Agricultural Water Management*. – 2024. – Vol. 301. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.108934>.
7. Веселов В.В. Гидрогеологическое районирование и региональная оценка ресурсов подземных вод Казахстана: Анализ результатов исследований за 1961-2002 гг. – Алматы, 2002. – 438 с.
8. Смоляр В.А., Буров Б.В. и др. Водные ресурсы Казахстана (поверхностные и подземные воды, современное состояние). – Алматы: Ғылым, 2002. – 596 с.
9. Смоляр В.А., Буров Б.В., Мустафаев С.Т. Ресурсы подземных вод Республики Казахстан. Водные ресурсы Казахстана: оценка, прогноз, управление. – Алматы, 2012. – 632 с.
10. Osipov, S., Yermenbai, A., Akylbekova, A., Livinsky, Y., Anarbekov, O. The negative impact of anthropogenic factors on the state of groundwater of Kazakhstan. – *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan-Series of Geology and Technical Sciences*. – 2020. – No. 2(440). – P.132-140. <https://doi.org/10.32014/2020.2518-170x.40>
11. Abuduwaili, J., Issanova, G., Saparov, G. Water Resources in Kazakhstan. – *Hydrology and Limnology of Central Asia*. – 2019. – P. 11-46. https://doi.org/10.1007/978-981-13-0929-8_2
12. Ауелбек, З., Калыбекова, Е., Сейтасанов, И., Онласын, У., Жандияр, Е. Основы рационального использования водных ресурсов Балкаш-Алакольского водохозяйственного бассейна. – *Izdenister Natigeler*. – 2023. – 2 (98). 327-336 с. <https://doi.org/10.37884/2-2023/32>.
13. Куришбаев, А., Атакулов, Т., Рябцев, А. Проблемы и перспективы развития орошаемого земледелия в Казахстане. – *Izdenister Natigeler*. – 2025. – 1(105). – 431-439 с. <https://doi.org/10.37884/1-2025/46>.
14. Атлас гидрогеологических карт Республики Казахстан. Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У.М. Ахмедсафина. – Алматы, 2022. – 83 с.
15. Генеральная схема комплексного использования и охраны водных ресурсов. Утверждена постановлением Правительства Республики Казахстан от 08.04.2016 г. № 200. <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P1600000200>.

References

1. The United Nations World Water Development Report 2022. Groundwater: Making the invisible visible. UNESCO, Paris. <https://www.unesco.org/reports/wwdr/2022/en>.
2. Non-renewable groundwater resources. A guidebook on socially-sustainable management for water-policy makers. – UNESCO, IHP-VI, Series on Groundwater. – 2006. – №10.– P. 104. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000146997>.
3. Zektser, I.S., L.G. Everett (eds). Groundwater resources of the world and their use. – UNESCO, IHP-VI, Series on Groundwater. – 2004. – №6, – P. 346. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000134433>.
4. Margat, J., J. van der Gun. Groundwater around the World. – CRC Press, Balkema. – 2013. – P. 372. https://hydrology.nl/images/docs/alg/Groundwater_around_world.pdf.

5. Tazhiyev, S., Murtazin, Ye., Sotnikov, Ye., Rakhimova, V., Abdizhalel, M., Yerezhep, D., Adenova, D. Geoinformation and Analytical Support for the Development of Promising Aquifers for Pasture Water Supply in Southern Kazakhstan. – *Water*. – 2025. – Vol. 17(9). – P. 1297. <https://doi.org/10.3390/w17091297>.
6. Dyuisenkhan, A., Zhaparkulova, Ye., Issakov, Ye., Mirdadayev, M., Aldiyarova, A., Kaipbayev, Ye., Kalmashova, A., Zhoya, K., Kai Zhu, Lóránt Dénes Dávid. The possibility of using groundwater and collector-drainage water to increase water availability in the Maktaaral district of the Turkestan region of Kazakhstan. – *Agricultural Water Management*. – 2024. – Vol. 301. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.108934>.
7. Veselov V.V. Gidrogeologicheskoe rajonirovanie i regional'naya otsenka resursov podzemnykh vod Kazakhstana: Analiz rezul'tatov issledovaniy za 1961-2002 gg. [Hydrogeological zoning and regional assessment of groundwater resources in Kazakhstan: Analysis of research results for 1961–2002.]. – Almaty, 2002. – P. 438. [in Russian]
8. Smolyar V.A., Burov B.V. i dr. Vodnye resursy Kazakhstana (poverkhnostnye i podzemnye vody, sovremennoe sostoyanie) [Water resources of Kazakhstan (surface and groundwater, current state)]. – Almaty: Gylym, 2002. – P. 596. [in Russian]
9. Smolyar V.A., Burov B.V., Mustafaev S.T. Resursy podzemnykh vod Respubliki Kazakhstan. Vodnye resursy Kazakhstana: otsenka, prognoz, upravlenie [Groundwater resources of the Republic of Kazakhstan. In Water resources of Kazakhstan: Assessment, forecast, management]. – Almaty, 2012. – P. 632. [in Russian]
10. Osipov, S., Yermenbai, A., Akylbekova, A., Livinsky, Y., Anarbekov, O. The negative impact of anthropogenic factors on the state of groundwater of Kazakhstan. – *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan-Series of Geology and Technical Sciences*. – 2020. – No. 2(440). – P.132-140. <https://doi.org/10.32014/2020.2518-170x.40>.
11. Abuduwalli, J., Issanova, G., Saparov, G. Water Resources in Kazakhstan. – *Hydrology and Limnology of Central Asia*. – 2019. – P. 11-46. https://doi.org/10.1007/978-981-13-0929-8_2.
12. Auelbek, Z., Kalybekova, E., Sejtasanov, I., Onlasyn, U., ZHandiyar, E. Osnovy ratsional'nogo ispol'zovaniya vodnykh resursov Balkash-Alakol'skogo vodokhozyajstvennogo bassejna [Fundamentals of Rational Use of Water Resources in the Balkhash-Alakol Water Management Basin]. – *Izdenister Natigeler*. – 2023. – 2 (98). – P. 327-336. <https://doi.org/10.37884/2-2023/32>. [in Russian]
13. Kurishbaev, A., Atakulov, T., Ryabtsev, A. Problemy i perspektivy razvitiya oroshaemogo zemledeliya v Kazakhstane [Problems and prospects for the development of irrigated agriculture in Kazakhstan]. – *Izdenister Natigeler*. – 2025. – 1(105). – P. 431-439. <https://doi.org/10.37884/1-2025/46>. [in Russian]
14. Atlas gidrogeologicheskikh kart Respubliki Kazakhstan. Institut gidrogeologii i geoekologii im. U.M. Akhmedsafina [Atlas of Hydrogeological Maps of the Republic of Kazakhstan. U.M. Akhmedsafin Institute of Hydrogeology and Geoecology]. – Almaty, 2022. – P. 83. [in Russian]
15. General'naya skhema kompleksnogo ispol'zovaniya i okhrany vodnykh resursov. Utverzhdena postanovleniem Pravitel'stva Respubliki Kazakhstan ot 08.04.2016 g. № 200 [General Scheme for the Integrated Use and Protection of Water Resources. (2016). Approved by the Resolution of the Government of the Republic of Kazakhstan dated April 8, 2016, No. 200]. <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P1600000200>. [in Russian]

М.Қ. Абсаметов, Д.С. Сапарғалиев, В.А. Смоляр, Е.Ж. Муртазин, С.Р. Тажиев*
У.М. Ахметсафин атындағы Гидрогеология және геоэкология институты,
Сәтбаев университеті, Алматы, Қазақстан Республикасы, mabsametov@mail.ru,
rgzgroupl@gmail.com, v_smolyar@mail.ru, ye_murtazin@list.ru, sula_tashiev@mail.ru*
ҚАЗАҚСТАНДАҒЫ ЖАҢАРТЫЛАТЫН ЖЕР АСТЫ СУ ҚОРЛАРЫ

Аңдатпа

Тұщы судың жетіспеушілігі мен климаттық тәуекелдердің артуы жағдайында Қазақстанның жерасты суларының жаңартылатын қорларын бағалау өзекті мәселе болып отыр. БҰҰ-ның «*Groundwater: Making the Invisible Visible*» (2022) баяндамасына сәйкес, Жер бетіндегі тұщы судың 99%-ға жуығын жерасты сулары құрайды. Олар тұрақты даму, азық-түлік қауіпсіздігі және климаттың өзгеруіне бейімделу тұрғысынан маңызды рөл атқарады.

Әлемдік тәжірибеде жерасты сулары табиғи ресурс ретінде қарастырылады, оның практикалық маңызын негізінен жаңартылатын қорлар айқындайды. Бұл қорлар жерасты сулардың жылдық қоректенуін сипаттап, олардың сарқылмайтын пайдалы қазба ретіндегі негізгі қасиетін көрсетеді және ұзақ мерзімді кезеңде жерасты суларын сарқылусыз пайдаланудың шекті шамасын анықтайды. Мұндай бағалау белгілі бір аймақтың жерасты суларына қамтамасыз етілуін, жерасты және жерүсті суларының арақатынасын және су балансының жалпы құрылымындағы жерасты ағынының рөлін айқындауға мүмкіндік береді.

Мақалада Қазақстан аумағының үш негізгі гидрогеологиялық аймағын қамтитын жерасты суларының гидрогеологиялық ерекшеліктеріне шолу жасалған: қатпарлы-таулы құрылымдар, консолидталған таулы массивтер және платформалық аймақтар. 1960–2020 жылдар аралығындағы аймақтық зерттеулердің нәтижелері негізінде жерасты суларының жаңартылатын қорларын бағалау әдістері қарастырылған. Оларға гидрогеологиялық талдау, атмосфералық жауын-шашынның инфильтрациясы бойынша есептеу, гидрогеологиялық аналогия және ArcGIS бағдарламалық ортасында кеңістіктік модельдеу жатады.

Аймақтық бағалау нәтижелері бойынша Қазақстанның жерасты суларының жиынтық жаңартылатын қоры 1,17-1,53 мың м³/с немесе 37-48 км³/жыл аралығында өзгереді. Орташа жерасты ағынының қабаты 14-19 мм/жыл, ал ағын модулі 0,45-0,6 л/с·км² шамасында. Ең жоғары көрсеткіштер елдің оңтүстік және шығысындағы қатпарлы-таулы аудандарға тән (жерасты ағыны 80 мм/жыл дейін), ал ең төменгі мәндер – батыстың құрғақ аймақтарында байқалады. Жүргізілген жүйелеу Қазақстандағы ұлттық су балансы мен жерасты суларын тұрақты басқару стратегияларын жетілдіру үшін негіз қалайды.

Кілт сөздер: жер асты суларының жаңартылатын ресурстары, гидрогеологиялық аймақтар, аймақтық бағалау, жер асты суларының ағыны, жер асты суларының ағынының қабаты, жер асты суларының ағынының модулі, Қазақстан Республикасы.

M.K. Absametov, D.S. Sapargaliev, V.A. Smolyar, E.Zh. Murtazin, S.R. Tazhiyev*
Institute of Hydrogeology and Geoecology named after. U.M. Akhmedsafin, Satbayev
*University, Almaty, Republic of Kazakhstan, mabsametov@mail.ru, rgzgroupl@gmail.com,
v_smolyar@mail.ru, ye_murtazin@list.ru, sula_tashiev@mail.ru**

RENEWABLE GROUNDWATER RESOURCES IN KAZAKHSTAN

Abstract

In the context of increasing freshwater scarcity and growing climate risks, the assessment of renewable groundwater resources in Kazakhstan is becoming increasingly important. According to the UN report “*Groundwater: Making the Invisible Visible*” (2022), up to 99% of all freshwater on Earth is groundwater, which plays a crucial role in sustainable development, food security, and climate change adaptation.

In global practice, groundwater is considered a natural resource whose practical value is primarily determined by its renewable reserves. These represent the annual recharge of aquifers and reflect their fundamental property as a renewable mineral resource, defining the upper limit of long-term groundwater abstraction without depletion. The estimation of renewable resources provides

insight into regional groundwater availability, the relationship between groundwater and surface water, and the role of subsurface flow in the overall water balance.

This article presents an overview of the hydrogeological characteristics of Kazakhstan, which includes three major hydrogeological regions: folded-mountain structures, consolidated mountain formations, and platform areas. Based on the synthesis of regional studies conducted between the 1960s and 2020s, various methods for assessing renewable groundwater resources are discussed, including hydrological analysis, infiltration-based recharge estimation, hydrogeological analogy, and spatial modeling using ArcGIS tools.

The comparison of regional assessments shows that Kazakhstan's total renewable groundwater resources range from 1.17 to 1.53 thousand m³/s, or 37-48 km³/year, with an average groundwater runoff layer of 14-19 mm/year and a runoff module of 0.45-0.6 L/s·km². The highest values are observed in the folded-mountain regions of the south and east, where groundwater runoff reaches up to 80 mm/year, and the lowest in the arid western regions. The performed systematization forms a basis for refining the national water balance and improving strategies for the sustainable management of groundwater resources in Kazakhstan.

Key words: renewable groundwater resources, hydrogeological regions, regional assessment, groundwater flow, groundwater flow layer, groundwater flow modulus, Republic of Kazakhstan.

Вклад авторов:

Абсаметов Малис Кудысович – администрирование проекта

Сапарғалиев Данияр Серикович – курирование данных

Смоляр Владимир Александрович – методология, проверка

Муртазин Ермек Жамшитович – курирование данных, формальный анализ

Тажиев Султан Рысниязович – обзор, редактирование

МРНТИ 70.81.15

DOI <https://doi.org/10.37884/4-2025/40>

*Н.Н.Бакбергенев¹, Т.К.Иманалиев*¹, Т.С.Ишанғалиев², У.К. Онласын²*

*¹Казахский научно-исследовательский институт водного хозяйства. г. Тараз, Республика Казахстан, bakbergenovnurlan@mail.ru, tonimontana_777@mail.ru**

²Қазақ ұлттық аграрлық зерттеу университеті, г.Алматы, Республика Казахстан. ulzhan.onglassyn@kaznaru.edu.kz, timurlan.ishangaliyev@kaznaru.edu.kz

СОСТОЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ВОДОУЧЕТА НА ОТКРЫТОЙ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СЕТИ НА ПРИМЕРЕ ЖАМБЫЛСКОЙ ОБЛАСТИ

Аннотация

В Республике Казахстан общее состояние технологических процессов водоучета на мелиоративных системах, включая открытые оросительные сети, оценивается как крайне неудовлетворительное. Оно не соответствует современным метрологическим требованиям к государственному учету водных ресурсов. Основные проблемы включают низкую точность измерений уровня и расхода воды, медленный сбор информации, значительные потери воды из-за износа инфраструктуры (до 70% в некоторых районах), фильтрации (около 40%) и испарения. Это приводит к нерациональному использованию ресурсов и снижению эффективности орошения сельскохозяйственных угодий

Технологические процессы водоучёта на открытых оросительных сетях Жамбылской области имеют принципиальное значение для повышения эффективности использования водных ресурсов в условиях аридного климата. В статье рассматривается состояние технологических процессов водоучета на открытых оросительных сетях Жамбылской