

УДК 556.3.01 (574.5)

А.К. ДЖАКЕЛОВ

## К МЕТОДИКЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЛУБОКОГО ПОДЗЕМНОГО СТОКА, ФОРМИРУЮЩЕГОСЯ В ГОРНОСКЛАДЧАТЫХ ОБЛАСТЯХ (НА ПРИМЕРЕ ЗАИЛИЙСКОГО АЛАТАУ)

Биік тау беткейлеріндегі тектоникалық жарықтарда калыптасып, ойпанға ететін терен жер асты су ағындарының пайда болу зандылықтары, зерттеу тәсілдері, есептеу әдістемелері каралған.

Рассмотрены закономерности формирования глубокого подземного стока в высокогорных областях, разработаны методы его изучения и методика определения.

Laws of formation of deep underground run-off in the mountainous regions were considered of investigation and determination were developed.

Заилийский Алатау отличается высокогорным, сложным крутосклонным рельефом, с резко выраженнымми формами ледниковой деятельности. Слагающие его горные породы весьма разнообразны по составу. Центральная его часть преимущественно сложена гранитными интрузиями. В западной и восточной частях, наравне с ними, распространены метаморфические породы протерозоя, эфузивно-осадочные комплексы палеозоя. Горный массив нарушен разрывами северо-западного и северо-восточного направлений; присутствуют также поперечные и диагональные нарушения. Отмеченное определяет ступенчатый характер его строения. Верхние блоки хребта повсеместно обнажены. В отличие от этого, самая нижняя его ступень (прилавки) перекрыта неогеновыми и нижнечетвертичными отложениями, что дало основание исследователям сделать вывод о вовлечении этого блока в поднятие только в среднечетвертичное время. В ее пределах выделяется ряд синклинальных структур, обрамленных чаще с юга разрывными дислокациями. В целом она представляет переходную зону от гор к равнине, прорезана глубокими речными долинами, как правило, контролируемыми тектоническими разломами [4,5].

Соответственно природно-географическим условиям, в Заилийском Алатау распространены

разнообразные подземные воды. Подробное описание их дано в ряде опубликованных работ. По этим материалам хорошая раскрытость гидро-геологических структур, интенсивная трещиноватость горных пород, обилие выпадающих осадков, создают весьма благоприятные условия для восполнения ресурсов подземных вод. При этом подчеркивается, что количество формирующихся подземных вод находится почти в прямой зависимости от высоты горного сооружения и величины выпадающих атмосферных осадков [1,9,16].

Нашиими исследованиями, проведёнными в последнее время, получены новые материалы, существенно уточняющие условия распространения и формирования подземных вод в высокогорных областях, в том числе и глубокого подземного стока, скрыто, на большой глубине перетекающего в прилегающие к горам артезианские бассейны.

К числу новых результатов, прежде всего, можно отнести то, что подземные воды в пределах горной территории формируются не повсеместно. По этим особенностям на северном склоне Заилийского Алатау выделяются 3 зоны.

Первая занимает наиболее возвышенную центральную часть хребта с высотами 3200-4000 м и более, т.е. совпадает с контуром гляциально-

<sup>1</sup>Казахстан. 050010, Алматы, ул. Валиханова, 94. Институт гидрогеологии и гидрофизики им. У.М. Ахмедсафина.

нивального его пояса. Общая протяженность участка около 150 км, площадь - примерно 1000 км<sup>2</sup>. Более половины этой территории (порядка 65%) располагается в центральной части хребта (верховья бассейнов рек Малая Алматинка, Талгар и Иссык), где ширина зоны достигает 12-22 км; на западном и восточном флангах она не превышает 1,5-2 км. Отличительной особенностью зоны является развитие в центральной ее части ледников (300 км<sup>2</sup>) и вокруг нее вечной мерзлоты (721,0 км<sup>2</sup>). Мощность последней возрастает по мере увеличения отметок горной территории. Так, на высотах 3100 м она достигает 60 м на 3500 – около 130-140 м, на 4000 – больше 200 м [6,7]. Приведенные данные дают полное основание для утверждений, что здесь из-за глубокого промерзания недр, трещины верхней выветрелой зоны горных пород заполнены льдом, что определяет их водонепроницаемость. В отмеченных условиях, образовавшаяся за счет таяния снега влага не может просочиться в грунт, а скатывается вниз по горному склону и лишь вне зоны вечной мерзлоты, т.е. за пределами рассматриваемого участка (в среднегорной зоне) участвует в восполнении ресурсов подземных вод. Что

же касается ледников, занимающих центральную часть хребта, то образующаяся за счет их таяния влага, в самое жаркое время года целиком идет на формирование поверхностного стока [8]. Доля их в общем водном балансе горных рек составляет 22% (табл. 1).

Приведенные данные являются свидетельством того, что высокогорная зона Заилийского Алатау, вопреки утверждениям исследователей, не благоприятна для формирования неглубокозалегающих трещинно-грунтовых вод. Но это не исключает возможности циркуляции в её пределах подземных вод в тектонических нарушениях. Основанием для такого суждения является трансформный характер разломов, т.е. они пересекают не только поднятие или высокогорную зону хребта, но и среднегорную (горсты и грабены), где на более низких отметках тектонические нарушения в летнее время свободны от льда и в них могут поступать как атмосферные осадки, так и трещинно-грунтовые воды из зоны регионального выветривания горных пород.

Вторая зона выделяется ниже границы вечной мерзлоты, в промежутке между ней и нижней предгорной ступенью. В отличие от гляци-

Таблица 1. Средний многолетний сток рек северного склона Заилийского Алатау

Но- бис- сейна	Река, пункт	Водосбор		Расход реки, м <sup>3</sup> /с	В том числе			
		F, км <sup>2</sup>	Hср., м		Ледниковое питание м <sup>3</sup> /с	% от общего расхода реки	Подземное питание м <sup>3</sup> /с	% от общего расхода реки
1	Узынкаргалы, п.Фабричный	344	2590	3,55	0,35	9,9	3,2	90,1
2	Чемолган, с.Чемолган	139	2450	1,30	0,06	4,6	1,24	95,4
3	Каскелен, с.Каскелен	290	2680	4,10	0,29	7,1	3,81	92,9
4	Аксай, 2км выше кордона	136	2930	2,33	0,42	18,5	1,91	81,5
5	Каргинка, к-з им. Чапаева	44,9	2770	0,62	0,12	19,3	0,50	80,7
6	Б.Алматинка, 2км ниже устья							
	р.Тересбутак	280	2990	5,25	1,16	22,3	4,09	77,7
7	М.Алматинка, г.Алма-Ата	118	2560	2,30	0,39	16,9	1,91	83,1
8	Талгар, г.Талгар	444	3260	10,4	3,72	35,8	6,68	64,2
9	Иссык,							
	5км ниже озера	256	2990	4,98	1,61	32,3	3,37	67,7
10	Тургень., с.Тургень	614	2750	7,13	1,06	14,7	6,07	85,3
Итого				42,0	9,2	22,0	78,0	

ально-нивального пояса, здесь температура воздуха в течение всего лета положительная. Поэтому для нее характерно только сезонное промерзание почво-грунтов, которое исчезает к времени весеннего снеготаяния [15]. Другой важной особенностью зоны является покрытость горного склона маломощной каменистой почвой, характеризующейся довольно высокими фильтрационными параметрами. По результатам опытных наливов скорость фильтрации воды в данной зоне в среднем составляет от 8 до 12 мм/мин или 11-17 м/сут. Базируясь на этих и других материалах, ряд исследователей [14,15] отмечает, что показатели фильтрационной способности естественной поверхности в данной зоне значительно превосходят максимальную интенсивность водообразования при весеннем снеготаянии, а также в периоды выпадения обильных жидких осадков. При этом подчеркивается, что на склонах ни весной, ни летом не отмечается передвижение влаги, что свидетельствует о полном её поглощении. Этому благоприятствует не только

каменистая почва, залегающая сверху, но и высокая трещиноватость подстилающих коренных пород.

Отмеченные особенности рассматриваемого участка Заилийского Алатау являются свидетельством наличия в среднегорной зоне благоприятных условий для просачивания в недра не только атмосферных осадков, но и обильной влаги, перетекающей по горному склону из выше расположенной криогенной зоны. Общая величина подземных вод, образующихся в среднегорной полосе за счет указанных двух источников питания, довольно большая. Об этом наглядно свидетельствуют данные по выклиниванию подземных вод в русле р.М.Алматинки (табл. 2). Исходя из этих данных, можно сказать, что только в среднегорной полосе происходит интенсивное формирование подземных вод, а не повсеместно, как утверждалось ранее. В то же время нельзя не подчеркнуть и другое важное обстоятельство, что реки в среднегорной полосе практически не получают прямого снегового или дож-

Таблица 2. Изменение поверхностного и подземного стока по реке Малая Алматинка на северном склоне Заилийского Алатау

№ п/п	Гидро- пост	Водосборный бассейн			Расход, м <sup>3</sup> /сек				Сточообразующие осадки, мм	Соотношение подземного стока к стокообразующим осадкам, %
		F, км <sup>2</sup>	Нср.взв Нпоста «м»	Прирост площади между постами, км <sup>2</sup>	Среднегодовой	В т.ч. подземный сток	Прирост подземного стока	Модуль л/с км <sup>2</sup> (мм)		
1	Мынжилки	21,0	3660 2991	21,0	0,31	нет	нет	-		
2	Туюксу (альп. база)	28,0	2900 2459	7,0	0,88	0,39	0,39	55,5 (1758)	865	203,2
3	Выше устья р.Сарысай	35,2	2500 2040	7,2	1,10	0,59	0,20	27,7 (872)	550	155,7
4	Гидрообсер- ватория	61,7	2000 1760	26,5	1,62	0,98	0,39	14,8 (466)	330	141,2
5	Город Алматы	118,0	1500 1175	56,3	2,26	1,32	0,34	6,0 (189)	160	118,1

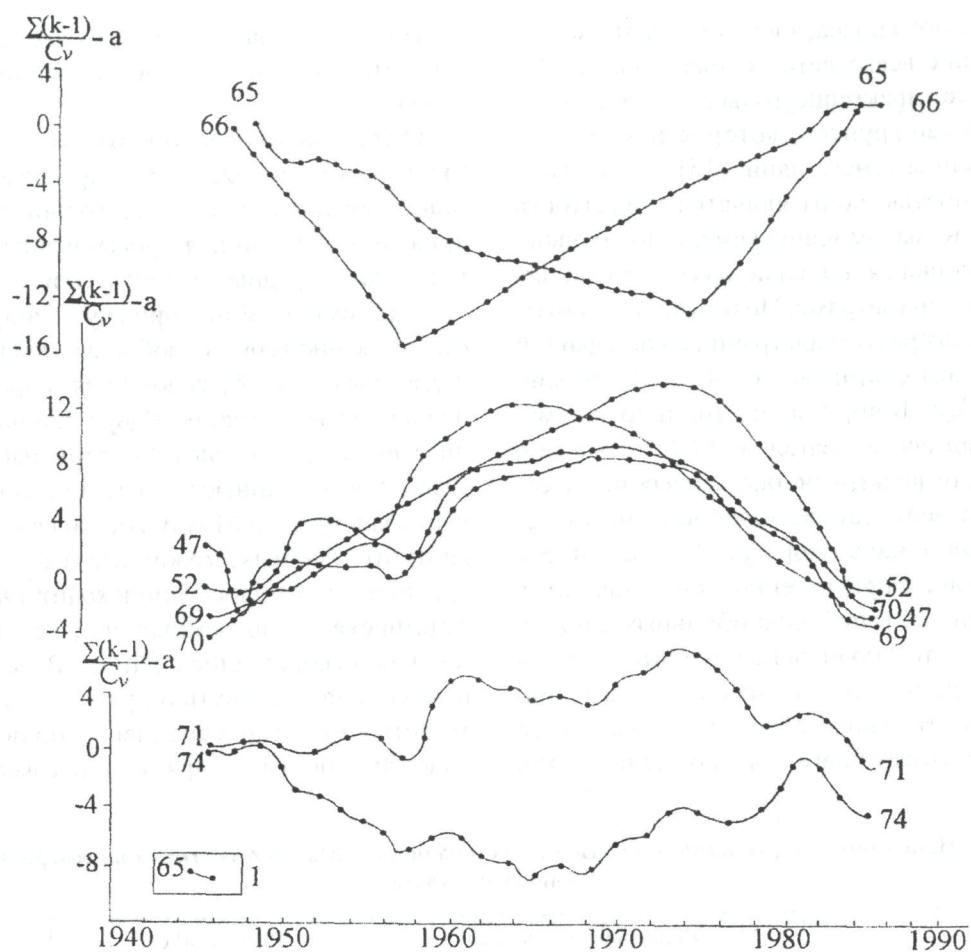


Рис. 1. Разностно-интегральные кривые расходного режима родников северного склона Заилийского Алатау 1 – номер родника

девого питания. Последнее осуществляется только путем подземной фильтрации влаги на горных склонах. Таким образом, в формировании речного стока в Заилийском Алатау участвуют два источника. Это ледниковый сток, притекающий поверхностным путем из гляциального пояса в самое жаркое время года и подземный сток, движущийся в недрах среднегорной полосы и поступающей в русловую часть рек с огромным запозданием. Несмотря на это, доля подземного стока, участвующего в формировании речного, значительно превалирует над ледниковым (табл. 1).

Общая величина подземного стока, разгружающегося в руслах рек, на северном склоне Заилийского Алатау составляет  $32,8 \text{ м}^3/\text{сек}$  или 78,0% от общего поверхностного стока (табл. 1)

Обработка многолетних данных по стоку р.М.Алматинка показала также крайне неравномерное распределение подземного стока даже в

относительно узкой среднегорной полосе северного склона Заилийского Алатау (табл. 2). Так, наибольший модуль подземного стока ( $55 \text{ л/сек с км}^2$ ), или в два раза больше стокообразующих осадков, приходится на высотную зону от 3200 до 2500м, прилегающую к криогенной зоне. Ниже этой зоны, на высотах 2500-2000м, подземное питание реки составляет  $27,7 \text{ л/сек на км}^2$  её бассейна, или в полтора раза больше стокообразующих осадков на данной территории. Примерно такая же картина наблюдается и в интервале высот 2500-1750м: при величине стокообразующих осадков  $330\text{мм}$  подземное питание реки превышает  $460\text{мм}$ .

Третья зона выделяется в пределах нижней предгорной ступени. Отличительной ее чертой является перекрытость древнего пленеплена глинистыми толщами неогена и антропогена. Благодаря этим особенностям, на большей ее части трещинно-грунтовые воды не получают питания

за счет выпадающих атмосферных осадков.

Приведенные выше данные в основном касаются подземных вод верхней зоны регионального выветривания горных пород и не затрагивают вопросы формирования подземных вод в глубокозаложенных тектонических нарушениях, т.е. глубокого подземного стока. Чтобы получить необходимые сведения о нем, мы проанализировали данные многолетних режимных наблюдений по родникам, выклинивающимся из коренных пород на северном склоне Заилийского Алатау. Составленные разностно-интегральные кривые их расходного режима (рис. 1) позволили выделить 2 группы родников.

К первой относятся родники, расходный режим которых в многолетнем разрезе (с 1946 по 1985 гг.) практически идентичен с режимом выпадающих атмосферных осадков. Указанное является четким доказательством того, что подземные воды верхней зоны трещиноватых пород здесь получают непосредственное питание за счет инфильтрующихся атмосферных осадков (род. 71, 74, рис. 1).

Вторая группа родников тяготеет к зонам тектонических нарушений, протягивающихся с юго-запада на северо-восток. Отличительной чертой их режима является полное несовпадение характера интегральных кривых с таковыми по атмосферным осадкам. По отдельным из них инерционность многоводного или маловодного цикла в их режиме по сравнению с атмосферными осадками достигает 54-63 лет (род. 70, 69). Отмеченная инерционность расходного режима родников, прежде всего, является свидетельством значительной удаленности областей питания подземных вод от мест их выклинивания. В тоже время отмеченное указывает на отсутствие гидравлической связи между выклинивающимися из тектонических разломов родниками с подземными водами верхней зоны регионального выветривания горных пород. Данный факт является свидетельством того, что именно глубинные разломы, направленные под острым углом к краевой зоне, представляют те «загадочные» пути, по которым глубокий подземный сток перетекает из Заилийского Алатау в сторону глубокопогруженной Алматинской впадины.

Тщательный анализ материалов позволил отнести к этой же группе еще два родника 65 и 66, резко отличающихся по характеру интеграль-

ных кривых. Например, инерционность наступления многоводной фазы в режиме родника 65 по сравнению с родником 66 составляет 15 лет (рис. 1). Данный факт не привлек бы внимания, если родник 65 находился бы гипсометрически ниже. На самом деле он располагается выше по горному склону на расстоянии 1250 м от родника 66. На первый взгляд отмеченное является парадоксальным. Получается так, что в роднике 66, расположенному гипсометрически ниже по направлению движения трещинно-грунтовых вод, увеличение расхода начинается на 15 лет раньше, чем в роднике, находящемся выше по горному склону. Отмеченное явно указывает на то, что рассматриваемые родники каптируют подземные воды разных тектонических нарушений. Кроме того, указанное может служить еще одним доказательством того, что родники вытекают не из трещин регионального выветривания, а из глубокозаложенных тектонических нарушений северо-восточного простирания, представляющих собой главные артерии передвижения глубокого подземного стока.

Затронутые выше вопросы о связи родников с тектоническими нарушениями имеют важное значение не только в теоретическом и методическом отношении, но и в практическом. Именно достоверная количественная оценка глубокого подземного стока позволит существенно увеличить как естественные, так и эксплуатационные ресурсы подземных вод горных и предгорных районов, где потребность в доброкачественных источниках водоснабжения постоянно растет.

В то же время, приведенные данные об инерционности маловодных или многоводных циклов в режиме горных родников являются важным фактом, указывающим на то, что мы в данном случае действительно имеем дело с глубоким подземным стоком, приуроченным к тектоническим разломам. Однако, достоверная количественная его оценка представляет довольно сложную задачу, так как он в пределах горной территории выклинивается лишь частично. Основная часть стока скрыто, на большой глубине уходит в предгорную зону и пополняет ресурсы подземных вод Алматинского артезианского бассейна. По этой причине практически все исследователи, занимавшиеся им, вынуждены были его оценивать косвенными методами, т.е. путем решения уравнения общего водного баланса горной террито-

рии. Анализ результатов этих исследований свидетельствует о том, что изучение глубокого подземного стока еще находится на самом начальном этапе, несмотря на то, что им занимаются с середины прошлого столетия.

Ниже, в хронологическом порядке остановимся на результатах прежних исследований.

Впервые предположение о значительной роли глубокого подземного стока в пополнении ресурсов подземных вод предгорных артезианских бассейнов было сделано в 1961 г. У.М.Ахмедсафиным [1]. Однако, оно не получило дальнейшего развития. Вместо этого, позже (1968), в коллективной монографии [2] им эта идея была отвергнута и выдвинута другая концепция, что подземные воды кайнозойских отложений Илийского артезианского бассейна основное питание получают непосредственно в пределах впадины, преимущественно в полосе предгорных шлейфов, где стекающие с гор реки теряют большую часть своего стока на фильтрацию в толщу рыхлых грубообломочных отложений конусов выноса. Авторами было подчеркнуто, что лишь 8-10 % от общего объема атмосферных осадков, выпадающих на горной территории или 1,7 л/с с 1 км<sup>2</sup> уходит во впадину подземными путями, т.е. была поддержана идея, высказанная в 1964 г. В.Ф.Шлыгиной в работе [16].

В работе [17], наряду с общими ресурсами подземных вод конусов выноса была дана количественная оценка и глубокому стоку в горах, который транзитным путем поступает в предгорные районы. Величина его, по результатам выполненных воднобалансовых расчетов для горной территории составила 5,5 м<sup>3</sup>/с или 7% от всех ресурсов подземных вод, формирующихся в предгорной зоне.

В.Ф.Шлыгиной в сборнике «Формирование и гидродинамика артезианских вод Южного Казахстана» [18] эти цифры были повторены. При этом она глубокий сток назвала «безвозвратной инфильтрацией», которая, минуя эрозионную сеть, поступает во впадину подземными путями. В тоже время ею было сделано важное замечание, что поступающий с гор во впадину подземный сток по величине «не превышает ошибки расчета». Казалось бы, после сказанного, правильнее было бы пренебречь этой составляющей водного баланса как недостоверной величиной, и не рассматривать ее как источник питания подзем-

ных вод артезианского бассейна. Этого автором сделано не было.

Наиболее детально вопросы формирования ресурсов подземных вод изучаемой территории были рассмотрены в работе «Илийский артезианский бассейн», выпущенной в 1980 г. [3]. В данной работе указывается, что потоки подземных вод зарождаются в горном обрамлении впадины, где выпадает максимальное количество атмосферных осадков. В прогнозическом плане было отмечено, что они частично разгружаются в реки, а частично, подземными путями поступают в прилежащие впадины. Зоны предгорных прогибов, занятые с поверхности конусами выноса горных рек, признаны основной областью питания и распределения подземных вод; разломы, секущие горное обрамление и выходящие во впадину - основными дренами подземного стока в горах и водовыводящими каналами в межгорной впадине. Однако, последний вывод не был подтвержден фактическими данными. Здесь следует указать, что в краевой зоне Алматинской впадины, погруженной очень глубоко (до 3000 м и более), над палеозойскими породами залегают палеогеновые и миоценовые осадки большой мощности, содержащие высокоминерализованную воду (37,2-54,6 г/л). Если в этих условиях происходило бы перетекание подземных вод из нижележащих палеозойских отложений в выше лежащие четвертичные, то обязательно проявились бы гидрохимические аномалии на общем фоне пресных вод, распространенных как в предгорной зоне, так и на удалении от нее. Такие участки никем еще не установлены. Что же касается величины подземного стока со стороны гор во впадину, то в методическом плане были повторены прежние подходы. Для его определения было использовано уравнение общего водного баланса горной территории, предложенное Б.И. Куделиным [12]. В итоге были получены те же данные, что и в ранее опубликованных работах. Величина глубокого подземного стока с гор составила 5,8 м<sup>3</sup>/с, т.е. в пределах ошибки расчетов. Главной причиной такого подхода, по нашему мнению, является желание авторов воспользоваться результатами воднобалансовых исследований, выполненных гидрологами в Заилийском Алатау. При этом не было обращено внимание на то, что гидрологами преследовалась цель изучить закономерности изменения поверхностного стока (а не подземного), оценить вклад гор-

ных ландшафтов в его формирование. Специфика работ была такова, что она не позволяла решать чисто гидрогеологические задачи, в частности, оценить подземную составляющую водного баланса горной территории. В этом легко можно убедиться из следующего. Например, при изучении такой трудноопределимой составляющей водного баланса как испарение, гидрологи чаще пользовались эмпирическими зависимостями между интегральными значениями поверхностного стока и средневзвешенной высотой водосбора. Недостатки такого подхода заключаются в том, что зачастую в величину испарения включаются все ошибки, связанные с определением речного стока и осадков, не говоря о подземном стоке, величина которого заведомо принималась малозначительной. Нельзя также не обратить внимания на такой факт, когда при решении уравнения водного баланса постоянно корректировались величины испарения через другие его составляющие. Как указывают сами авторы, они «были вынуждены прибегать к методу последовательных приближений, подбирая распределение осадков по высоте». Анализируя полученные данные по испарению, И.С.Соседов [6] отмечает, что наиболее надежно оно определено для осыпей. На скалах опыты не ставились. Величина испарения на них принята по аналогии с осипами. Наиболее общими являются зависимости, установленные для луговых поверхностей, наименее достоверные показатели – испарение с лесных угодий. Это связано с целым рядом причин, в числе которых, в первую очередь, невозможность учета в условиях леса локальных особенностей бонитета. Отсюда достоверность исходных данных (как и в других горных районах) весьма ориентировочна. По твердому его убеждению, по мере получения фактических данных параметры зависимостей должны уточняться.

Еще одно важное положение, на которое нельзя не указать, это то, что критерием надежности определения испарения в горах служило соответствие вычисленного суммарного стока с различными поверхностями горной территории стоку горных рек в замыкающем створе. Отсюда, любые расчеты, базирующиеся на результатах гидрологических исследований, не могут позволить достоверно оценить величину глубокого подземного стока с горной территории (по разности приходных и расходных статей баланса). Поэтому

му попытки гидрогеологов воспользоваться этиими результатами для определения подземного стока глубокой инфильтрации не могли иметь успеха.

Для того, чтобы определить, какова роль глубокого подземного стока в формировании ресурсов подземных вод предгорных районов, нами детально изучены гидрогеологические условия переходной зоны Заилийского Алатау к впадине. При этом главный вопрос, на который следовало дать ответ, это: имеются ли более или менее благоприятные условия для перетекания подземных вод с горной территории в пределы артезианского бассейна? Для этого нам пришлось более детально изучить геолого-тектоническую обстановку в краевой зоне Заилийского Алатау, т.е. в пределах нижней его ступени. В этих целях были проанализированы материалы геологических съемок не только 1:200 000 масштаба, но и 1:50 000. На основе такого подхода было выяснено, что в Заилийском Алатау тектоническая раздробленность горных пород в четыре раза больше, чем показана на изданных геологических картах 1:200 000 масштаба. Из отмеченного можно сделать вывод, что Заилийский Алатау отличается исключительно благоприятными условиями для формирования обильного глубокого подземного стока. Сильная раздробленность пород характерна также для нижней предгорной ступени, представляющей переходную зону от гор к предгорной равнине. С юга она ограничена Заилийским разломом шириной 4 км; на севере её проходит Алматинский разлом мощностью от 2 до 5 км. По материалам геологической съемки 1:50 000 масштаба зоны их дробления перекрывают друг друга, что дало основание исследователям рассматривать их как единую зону.

С гидрогеологических позиций данное положение имеет весьма важное значение. Это означает, что горные породы в пределах нижней предгорной ступени обладают лучшей водопроницаемостью. Отмеченная особенность нижней предгорной ступени позволяет рассматривать ее как мощную транзитную зону для поступающего из высокогорья глубокого подземного стока. Этому способствует также благоприятный гидрогеологический разрез предгорной зоны (рис. 2). На составленных разрезах хорошо видно, что водоносные горизонты в краевой части Алматинско-артезианского бассейна по тектоническому

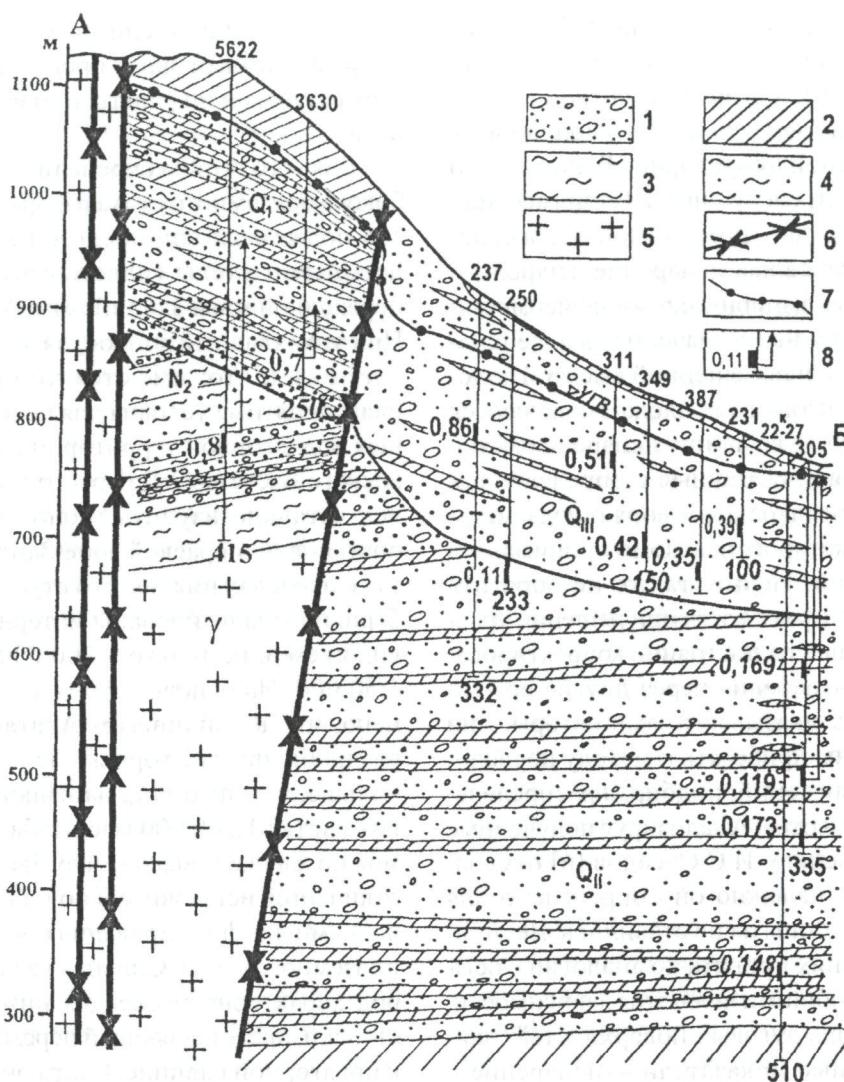


Рис. 2. Гидрогеологический разрез нижней предгорной ступени Заилийского Алатау и прилегающего конуса выноса на участке между речью Большая – Малая Алматинка: 1 – валунно-галечники; 2 – суглинки; 3 – глины; 4 – глины песчанистые; 5 – граниты; 6 – тектоническое нарушение; 7 – уровень подземных вод; 8 – скважина. Цифра у фильтра – минерализация воды (г/л), стрелка – напор подземных вод

контакту опущены на большие глубины, сверху перекрыты этажно расположенными водоупорными глинами и суглинками. В то же время они открыты в сторону краевого шва, что указывает на возможность свободного перетекания трещинных вод с горной территорией в предгорные конусы выноса, а также в нижележащие водоносные горизонты. На это четко указывает и разная степень минерализации подземных вод в низах и верхах разреза предгорных конусов выноса. Так, в предгорной полосе, на междуречье Большая–Малая Алматинка в верхнечетвертичных отложениях, залегающих первыми от поверхности земли, минерализация подземных вод составля-

ет 0,7–0,86 г/л (рис. 2), тогда как в нижележащих средне- и нижнечетвертичных валунно-галечниках, отделенных от верхнего горизонта суглинками небольшой мощности (5–7 м), она очень низкая – 0,11–0,20 г/л, или ниже почти в 6–8 раз. По мере удаления от предгорий минерализация воды в верхнем горизонте постепенно понижается, что связано с поступлением сверху поливных вод и атмосферных осадков. В отличие от этого, в нижней части разреза низкая минерализация воды практически не меняется. Указанное свидетельствует о том, что в нижней, хорошо изолированной части разреза, формирование подземных вод происходит исключительно за счет ультрапрес-

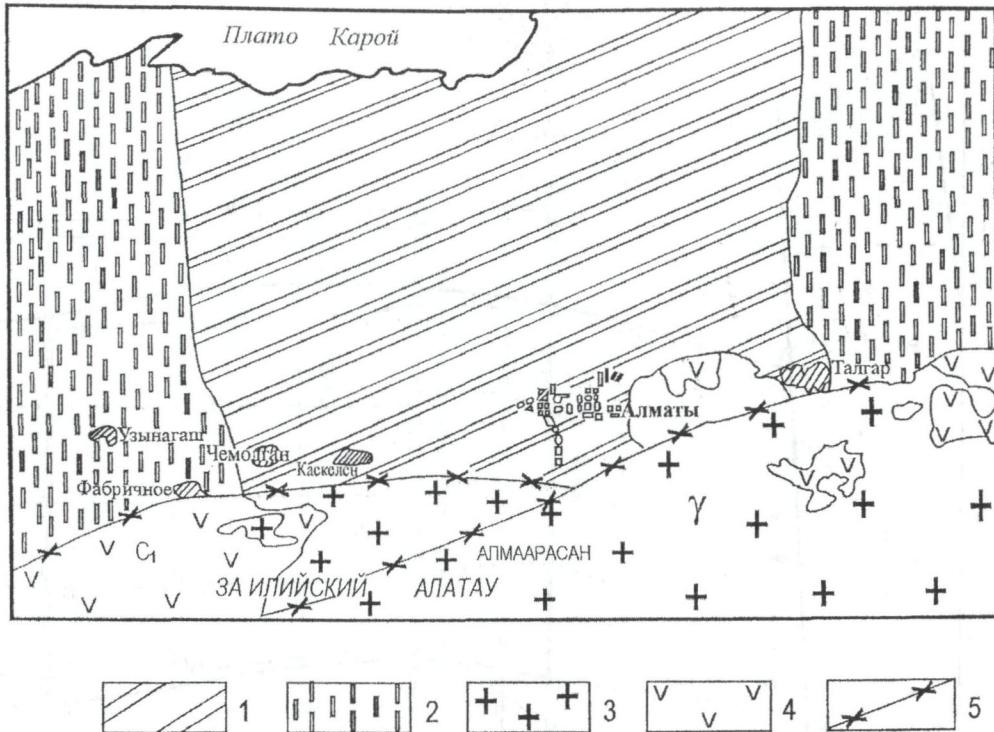


Рис. 3. Карта химического состава подземных вод нижнечетвертичных аллювиально-пролювиальных отложений Алматинской впадины. Химический состав подземных вод нижнечетвертичных аллювиально-пролювиальных отложений:  
1 – гидрокарбонатные натриевые (содовые); 2 – гидрокарбонатные кальциевые. Литологический состав пород в пределах Заилийского Алатау: 3 - интрузивные породы кислого состава; 4 – породы шункарской свиты нижнего карбона. 5 – тектоническое нарушение

ных подземных вод, поступающих со стороны Заилийского Алатау, которые, двигаясь по пересекающим горный склон тектоническим нарушениям, вначале поступают в зону нижней предгорной ступени, затем через краевой шов перетекают в пределы артезианского бассейна. При этом очень низкая минерализация вод ( $0,11 \text{ г/л}$ ) является явным признаком того, что эти воды образовались в средне- и высокогорной областях горного хребта. Отмеченный характер восполнения ресурсов подземных вод четко отражается не только на их минерализации, но и на химическом составе подземных вод краевой зоны артезианского бассейна. Тщательный анализ данных показал, что в плиоценовых и четвертичных отложениях, начиная от предгорной зоны, распространены гидрокарбонатные натриевые (содовые) воды (рис. 3). При этом площади их распространения тяготеют к участкам, где в пределах Заилийского Алатау развиты интрузивные породы кислого состава, с которыми плиоценовые и нижнечетвертичные отложения на большой глубине контактируют по тектоническому нарушению. О

том, что в гранитных интрузиях распространены содовые воды, указывает Е.В.Посохов [13]. Им подчеркивается, что подземные воды содового состава распространены только в северных цепях Тянь-шаня и связаны с биотитово-рогообманковыми гранитами; вытекают они из трещин в этих породах, и области их питания целиком располагаются на площадях развития гранитоидных пород. Отмеченное позволяет утверждать, что содовые воды, получившие распространение в Алматинской впадине, являются результатом их перетекания из пределов Заилийского Алатау. В пользу такого вывода говорит и другой факт. Например, на участках, где в Заилийском Алатау распространены вулканогенно-осадочные породы нижнего карбона, во впадине устанавливаются только гидрокарбонатные кальциевые воды (рис. 3).

Перетекание глубокого подземного стока отражается и на температурных условиях недр призаилийской зоны предгорья. На геотемпературном разрезе, составленном по данным термокаротажа глубоких скважин, четко видно, что

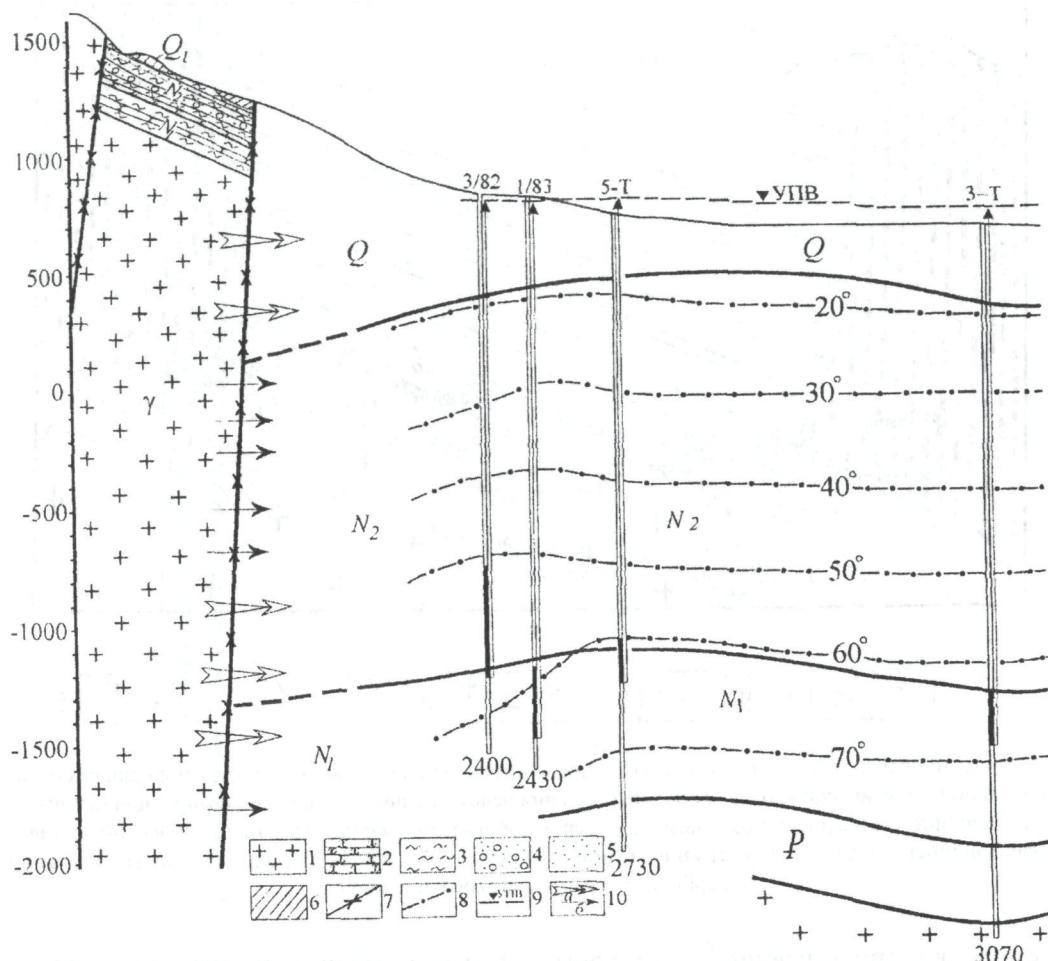


Рис. 4. Геотермический разрез предгорной зоны Заилийского Алатау 1 – граниты; 2 – песчаники; 3 – глины; 4 – галечники; 5 – пески; 6 – суглинки; 7 – тектоническое нарушение; 8 – изолинии температуры, С°; 9 – уровень напорных подземных вод, заключенных в миоценовых и плиоценовых отложениях; 10 – направление перетекания глубокого подземного стока из зоны краевого шва в предгорную зону Заилийского Алатау: а-интенсивного; б-умеренного

на некотором удалении от Заилийского Алатау температурные условия недр соответствуют общим региональным закономерностям их изменения (рис. 4). По мере приближения к краевому шву эта закономерность нарушается. Начинает проявляться охлаждающее влияние высокогорной территории, выразившееся в увеличении мощности верхней (до 20°C) геотемпературной зоны. Она у краевого шва проходит на глубине 1000–1100 м, что совпадает с подошвой четвертичных валунно-галечников, обладающих, благодаря высоким фильтрационным параметрам, мощной дренирующей способностью. Аналогичная термоаномалия наблюдается и на глубинах 1380–2200 м, что свидетельствует о присутствии в указанном интервале интенсивного перетекания подземного стока. Температура подземных вод здесь 50–60°C. В промежутке между аномаль-

ными интервалами выделяется участок с менее интенсивным изменением геотермического градиента, что может быть связано с умеренным перетеканием глубокого подземного стока в условиях относительно низких фильтрационных параметров водовмещающих толщ. В целом, здесь можно говорить о наличии определенной зависимости интенсивности перетекания от характера гидрогеологического разреза предгорной полосы артезианского бассейна. О поступлении низкотемпературных подземных вод со стороны Заилийского Алатау можно судить и по данным, полученным по ряду гидрогеологических скважин, пробуренных у краевого тектонического шва. Так, в скважинах №№ 3315, 5209 и 269, расположенных в пределах Алматинского конуса винограда, температура грунтовых вод на глубинах 60–180 м изменяется от 10 до 12°C (рис. 5). В сква-

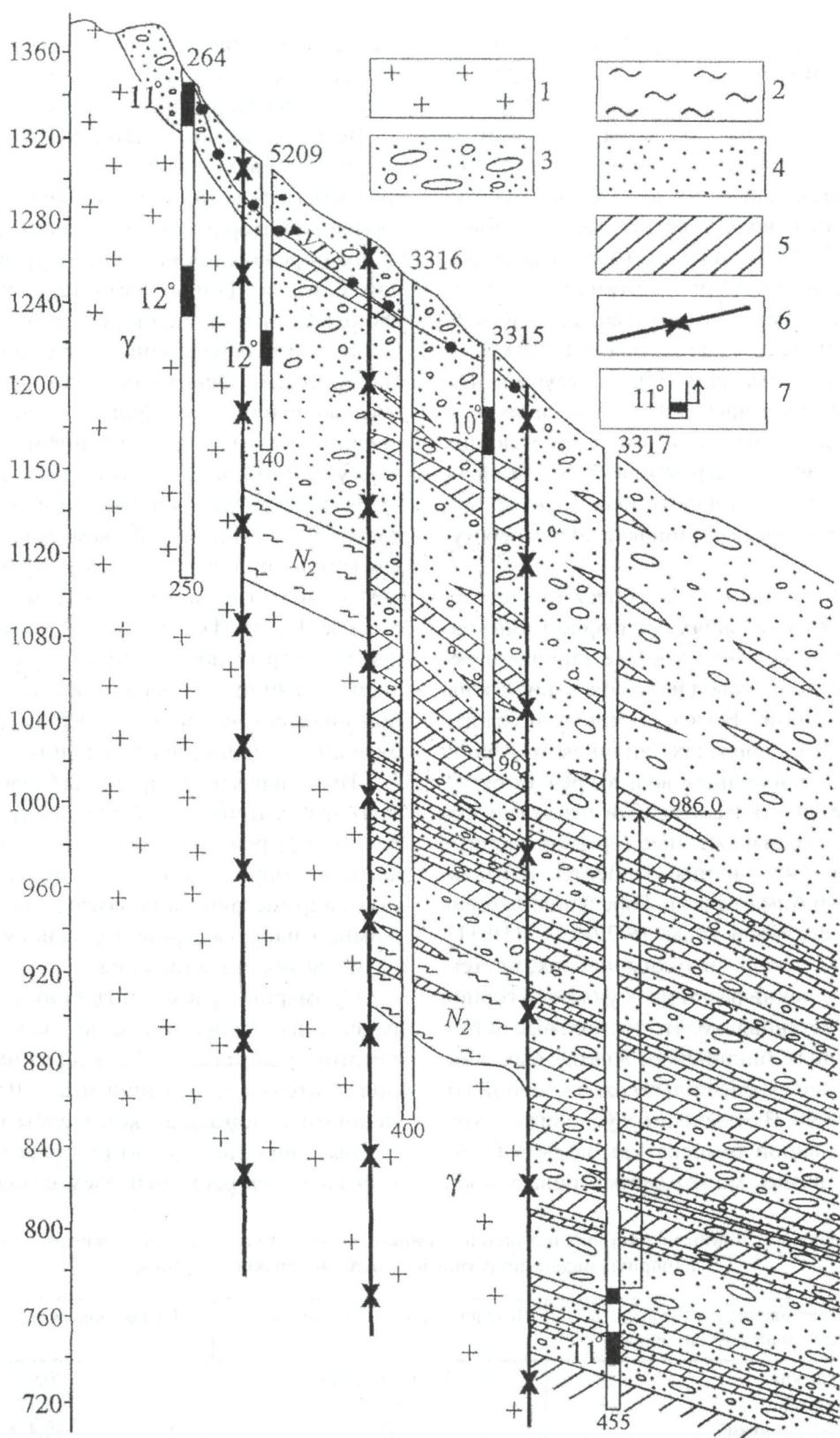


Рис. 5. Гидрогеологический разрез призаильской части Алматинского конуса выноса (долина р. Б.Алматинка).  
 1 — граниты; 2 — глины; 3 — валунно-галечники; 4 — пески; 5 — суглинки; 6 — тектонические нарушения; 7 — скважина.  
 Цифра — температура подземных вод в  $^{\circ}\text{C}$  в опробованном интервале, стрелка — напор подземных вод

жине № 3317 глубиной 455 м, с фильтром установленным в интервале 390-430 м, температура напорных подземных вод составляет  $11^{\circ}\text{C}$ , т.е. ниже на  $1^{\circ}\text{C}$ , чем у грунтовых вод, находящихся на 400 м выше по разрезу. При нормальном геотермическом градиенте, равном  $3^{\circ}\text{C}$ , на этих глубинах подземные воды должны были бы иметь температуру  $21\text{-}23^{\circ}\text{C}$  или в два раза больше, чем фактическая. Аналогичная картина наблюдается и на Талгарском конусе выноса. Здесь в скважине 2635 и кусте № 4 на глубинах 94-130 м температура воды составляет  $10^{\circ}\text{C}$ , на глубине 430 м она повысилась лишь на  $1^{\circ}\text{C}$ . В скважинах №№ 1 и 2602 в водоносных горизонтах, залегающих на разных глубинах с разрывом в 270 м, изолированных друг от друга водоупорными толщами, подземные воды имеют одинаковую температуру ( $10^{\circ}\text{C}$ ).

Приведенные данные являются свидетельством того, что в условиях предгорной зоны наблюдается мощное охлаждающее влияние перетекающих подземных вод из высокогорной зоны Заилийского Алатау. Но здесь нельзя не указать на тот факт, что в пределах Заилийского Алатау на общем фоне холодных вод, встречаются узколокальные участки с теплыми потоками, создающими резко выраженные термоаномалии у поверхности земли. К ним относятся термальные источники Алма-Арасан, Горельник, Тургень и др. с температурой воды до  $27\text{-}35^{\circ}\text{C}$  [10,11]. На основе анализа физико-химических, неотектонических условий различных участков горной территории, установлено, что термальные источники, в условиях Заилийского Алатау, выклиниваются на общем фоне сильно охлажденной водоносной среды. В отмеченных условиях сохранение повышенной температуры воды в тектонических разломах, может рассматриваться как

следствие хорошей гидравлической их изолированности, соответственно, об ограниченности ресурсов, формирующихся в них подземных вод.

Весь изложенный материал свидетельствует о довольно сложных условиях накопления и транзита глубокого подземного стока в условиях горной территории и невозможности достоверного его определения по общему уравнению водного баланса. Данное обстоятельство заставило нас отказаться от оценки его в пределах гор и пойти по пути определения в предгорной зоне, куда он перетекает. Основанием для такого решения послужило и то, что гидрогеологические условия предгорной зоны оказались значительно проще, чем у Заилийского Алатау. Подземные воды здесь циркулируют в выдержаных по площади водоносных горизонтах и комплексах, детально изученных при разведке таких крупных месторождений подземных вод как Алматинское, Талгарское, Иссык-Тургеньское, Чиликское, Каскеленское и др. Особую ценность для решения стоящей задачи представляют также данные опробования многочисленных опытных кустов, разбуренных в процессе разведочных работ.

Тщательная интерпретация (переинтерпретация) этих материалов позволила подсчитать по формуле Дарси расходы подземных потоков по каждому конусу выноса, а по данным стационарных гидрометрических замеров по рекам и режимных наблюдений по скважинам определить размеры местного питания.

Суммарный расход подземных потоков, определенный таким путем, на всем протяжении предгорья составил  $124,7 \text{ м}^3/\text{s}$ , из них  $113,7 \text{ м}^3/\text{s}$  приходится на четвертичный, а  $11,0 \text{ м}^3/\text{s}$  на плиоценовый водоносные комплексы (таблица 3). Чтобы определить долю глубокого подземного стока в общем расходе подземных потоков, фор-

Таблица 3. Данные о расходах потоков подземных вод на конусах выноса и нижележащих напорных водоносных горизонтов Алматинской впадины

№ п/п	Наименование конуса выноса артезианского бассейна	Возраст водоносного комплекса	Расход подземного потока, $\text{м}^3/\text{s}$
1	Алматинский	Четвертичный	20,986
2	Талгарский	"	15,779
3	Иссык-Тургеньский	"	30,478
4	Чиликский	"	42,074
5	Каскеленский	"	1,565
6	Узынагашский	"	2,776
7	Напорные воды нижних горизонтов		11,0
	Итого	Плиоцен	124,7

Таблица 4. Результаты определения местного питания, образующегося непосредственно на площади конусов выноса, и глубокого подземного стока, перетекающего со стороны Заилийского Алатау

Конус выноса	Расход подземного потока, по формуле Дарси, м <sup>3</sup> /с	В том числе, м <sup>3</sup> /с			
		Местное питание	%	Глубокий подземный сток, поступающий со стороны Заилийского Алатау	%
Чиликский	42,1	14,9	35,4	27,2	64,6
Иссык-Тургеньский	30,4	9,9	32,6	20,5	67,4
Талгарский	15,7	8,1	51,6	7,6	48,4
Алматинский	21,0	6,0	28,6	15,0	71,4
Итого	109,2	38,9	35,6	70,3	64,4

мирующихся в предгорье, потребовался более глубокий анализ условий питания подземных вод конусов выноса. В результате было установлено, что в рассматриваемых условиях естественные ресурсы подземных вод предгорной зоны ( $Q_e$ ) формируются за счет трех главных составляющих: а) потеря поверхностного стока из рек, каналов и на полях орошения (У); б) инфильтрации атмосферных осадков (Х) и в) глубокого подземного стока со стороны Заилийского Алатау (S). С учетом отмеченного, уравнение баланса подземных вод предгорной зоны может быть записано в следующем виде:

$$Q_e = U + X + S,$$

где  $Q_e$  – общие естественные ресурсы или расход подземного потока, формирующегося в предгорной зоне; У – фильтрационные потери из рек, каналов и на полях орошения; Х – инфильтрация атмосферных осадков; S – глубокий подземный сток, перетекающий со стороны Заилийского Алатау.

В данном уравнении неизвестным является только глубокий подземный сток (S). Для его определения оно может быть преобразовано в следующий вид:

$$S = Q_e - (U + X)$$

Подставив в это уравнение численные значения  $Q_e$ , У и Х, можно получить величину глубокого подземного стока.

Результаты выполненных расчетов по четырем хорошо изученным конусам выноса показали, что из общего расхода подземного потока, составляющего 109,2 м<sup>3</sup>/с, лишь 38,9 м<sup>3</sup>/с или 35,6% формируется за счет местных источников питания (потеря поверхностного стока и ин-

фильтрации атмосферных осадков). Большая же его часть, 70,3 м<sup>3</sup>/с или 64,4%, своим происхождением обязана глубокому подземному стоку. Указанная цифра в 12 раз превосходит прежние оценки (таблица 4).

Приведенные данные свидетельствуют о весьма благоприятных условиях формирования в недрах Заилийского Алатау значительного глубокого подземного стока, скрыто, подземным путем, перетекающего в краевую зону Алматинского артезианского бассейна. Отмеченное определяет новые перспективы бассейна на выявление и разведку в предгорных его районах дополнительных ресурсов подземных вод, которые могут удовлетворить растущую потребность населения в доброкачественных источниках водоснабжения.

Методические приемы изучения и оценки глубокого подземного стока, примененные в условиях Заилийского Алатау, могут быть использованы и в других аналогичных горноскладчатых районах Северного Тянь-Шаня, Жонгарского Алатау и Тарбагатая.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ахмедсафин У.М. Методика составления карт прогнозов и обзор артезианских бассейнов Казахстана. Алма-Ата, 1961. 106 с.
2. Ахмедсафин У.М., Батабергенова М.Ш., Джабасов М.Х. Жапарханов С.Ж., Солнцев А.В., В.Ф. Шлыгина. Артезианские бассейны Южного Казахстана. Алма-Ата, изд-во «Наука», 1968, 121 с.
3. Ахмедсафин У.М., Шлыгина В.Ф., Шестаков Ф.В., Мирлас В.М., Малахов В.Д., Витвицкая Л.П., Сыдыков О.Ж. Илийский артезианский бассейн. Алма-Ата, 1980, 146 с.
4. Геология СССР, т. XL, Южный Казахстан. Геологическое описание, кн. 1. М., 1971, 534 с.
5. Геология СССР, т. XL, Южный Казахстан, кн. 2, М., 1971, 284 с.

6. Горбунов А.П. Мерзлотные явления Тянь-Шаня. М., 1970, 265 с.
  7. Горбунов А.П., Северский Э.В. Геокриологическая высотная поясность Северного Тянь-Шаня // Криогенные явления Казахстана и Средней Азии. Якутск, 1979. С. 67-83.
  8. Гринберг С.В., Осипова А.П. О подземном питании горных рек северного склона Заилийского Алатау. Изв. АН Каз ССР, сер. геол., 1963, № 5. С. 89-95.
  9. Дмитровский В.И. Формирование подземных вод // Гидрогеология СССР, т. XXXVI «Южный Казахстан». М., 1970. С. 391-413.
  10. Жеваго В.С. Геотермия и термальные воды Казахстана. Алма-Ата, 1972, 225 с.
  11. Жеваго В.С., Кан М.С., Бондаренко Н.М., Алещенко Г.Р. Тепловой режим и гидротермальная энергия недр Южного Казахстана. Алма-Ата, 1976, 166 с.
  12. Куделин Б.И. Принципы региональной оценки естественных ресурсов подземных вод. М., 1960, 343 с.
  13. Погосов Е.В. Происхождение содовых вод в природе. Л., 1969, 153 с.
  14. Сазонов В.А., Соседов И.С. Фильтрационные свойства горных почв на северном склоне Заилийского Алатау // Гидрофизические исследования в горных районах Казахстана. Алма-Ата, 1969. С. 94-100.
  15. Соседов И.С. Методика территориальных водно-балансовых обобщений в горах. Алма-Ата, 1980. 149 с.
  16. Шлыгина В.Ф. Подземный сток с северных склонов Заилийского Алатау и его роль в питании подземных вод конусов выноса // Известия АН КазССР, сер. геол., 1964, № 4. С. 48-62.
  17. Шлыгина В.Ф. Формирование подземных вод конусов выноса на предгорной равнине Заилийского Алатау // Формирование подземных вод Казахстана. Алма-Ата, 1965. С. 64-91.
  18. Шлыгина В.Ф. Формирование напорных подземных вод артезианских бассейнов Южного Казахстана. Копа-Илийский артезианский бассейн // Формирование и гидродинамика