

КЛИМАТИЧЕСКАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ АРТЕЗИАНСКИХ ВОД (на примере СССР)

Проф. Н. И. ТОЛСТИХИН

Зональность грунтовых вод, их зависимость от климатических факторов освещаются в работах многих почвоведов и гидрогеологов — В. В. Докучаева, П. В. Отоцкого, В. С. Ильина, Б. Л. Личкова, О. К. Ланге [9], Г. А. Максимовича [13], И. В. Гармонова [4], Г. Н. Каменского [7] и др.

Вопрос зональности артезианских вод большинством авторов [5, 6, 11, 14, 18] рассматривается в связи с процессами динамики и водообмена, а роль климатических факторов обычно обходится молчанием. Лишь в работе А. М. Овчинникова [16] ясно сказано о глубокой связи гидро-термального режима земной коры с распределением температур на ее поверхности и о важном значении этого фактора для жизни подземных вод, в частности, для их состава. Однако и в этой работе роль климатических факторов, как факторов зональности артезианских вод, не рассматривается.

Артезианские воды приурочены к артезианским бассейнам, представляющим исторически развивающиеся гидрогеологические структуры. Среди артезианских бассейнов можно различать артезианские бассейны открытого типа, приуроченные к платформам (например, Московский), — «артезианские моря» и артезианские бассейны замкнутого типа, находящиеся внутри гидрогеологических складчатых областей (например, Ферганский), — «артезианские озера».

Температура артезианских вод зависит не только от глубины залегания артезианского горизонта, но и от географического положения артезианского бассейна. Так, в самом северном — Хатангском артезианском бассейне артезианские воды с температурой 0° залегают на глубине 400—600 м от поверхности земли. В центральной части Якутского артезианского бассейна, расположенного южнее, они находятся на глубинах 150—200 м. В артезианских озерах Забайкалья на глубинах от 100 м и менее встречаются воды с температурой 0° , причем эта глубина уменьшается в южном направлении. В Европейской части СССР артезианские воды с температурой 0° встречаются лишь в северной части Печорского бассейна.

Артезианские воды с температурой 20° в центральной части Якутского артезианского бассейна должны залегать на глубинах порядка 900 м и более от поверхности земли. На южной окраине Западно-Сибирского артезианского бассейна они вскрыты на глубинах 650—700 м, а в Кара-Кумах и Кизил-Кумах артезианские воды с такой температурой залегают на глубине всего лишь нескольких десятков метров. Даже грун-

товые воды на глубине 20—30 м местами имеют здесь температуру 19—20°.

Под Москвой на глубинах 1150—1200 м температура артезианских вод 42°. В Западно-Сибирском артезианском бассейне, в более южных широтах, чем Москва, на глубине 1320 м температура артезианских вод порядка 35°, т. е. значительно ниже, чем под Москвой. В Якутске на глубине 500 м температура артезианских вод равна всего лишь 2—3°. Ожидаемая на глубине 1200 м температура артезианских вод в Якутске будет около 28°, если принять геотермическую ступень равной 36 м/1°.

Приведенные примеры дают возможность сделать основные выводы. Охлаждение и нагрев поверхности земли под влиянием климатических факторов в многовековом разрезе передаются в глубину земной коры на расстояние нескольких километров и являются одним из решающих условий, определяющих температуру артезианских вод. В различных артезианских бассейнах, а также в различных частях одного и того же бассейна с севера на юг на одной и той же глубине от поверхности земли артезианские воды имеют различную температуру, которая возрастает в южном направлении. В артезианских бассейнах юга она является najwyżшей. Артезианские воды одной и той же температуры встречаются на различной глубине. Глубина залеганий изотермических поверхностей от поверхности земли возрастает по меридиану в северном направлении, а по параллели — с запада, от берегов Балтийского моря на восток до восточной окраины Якутского артезианского бассейна.

Из сказанного вытекает ряд следующих положений.

1. Каждый артезианский бассейн, в зависимости от своего географического положения и глубины залегания фундамента, будет обладать свойственным ему интервалом температур. Так, например, в южной части Московского артезианского бассейна (под Москвой) температурный интервал от 5 до 54°.

2. Поскольку процесс биохимической переработки подземных вод наиболее успешно протекает в теплых подземных водах, очевидно, наиболее благоприятные температурные условия (35—60°) для биохимической переработки подземных вод в артезианских бассейнах юга будут находиться на малых глубинах [3], тогда как в северном направлении зона температурного оптимума биохимической переработки артезианских вод будет погружаться. Не исключена возможность, что в артезианских бассейнах Крайнего Севера мы ее не встретим. Так, например, на северной окраине Северо-Двинского артезианского бассейна при глубине залегания фундамента на 1 км температурный интервал подземных вод будет составлять 1—35° и, следовательно, будет находиться ниже температурного оптимума.

3. Процессы гидрохимические и адсорбционные при низких температурах протекают медленнее и приводят к иным результатам, чем при высоких температурах артезианских вод [16]. Следовательно, и в этом отношении артезианские бассейны севера должны отличаться от южных.

4. Охлаждение земной коры и понижение температуры подземных вод приводит к возрастанию их плотности, вязкости, значительному уменьшению скоростей движения и т. д. Однако понижение температуры подземных вод решающее значение приобретает тогда, когда вследствие охлаждения ниже 0° пресные подземные воды из жидкой фазы превращаются в твердую. В связи с этим прекращается движение жидкой фазы подземных вод. Водоносные горизонты превращаются в водоупорные. Возникновение мерзлой зоны, как следствие охлаждения земной коры ниже нуля, предопределяет коренные изменения условий залегания, питания, стока, дренирования, водообмена артезианских вод. Увеличение

мощности мерзлой зоны в процессе ее развития сопровождается уменьшением мощности зоны пресных вод, отмиранием последней (Якутский артезианский бассейн) до практически полного уничтожения жидкой фазы пресных вод, превращающихся в лед (Хатангский бассейн).

Географическое положение и тем самым климатические условия артезианского бассейна определяют существование в его пределах или, наоборот, отсутствие в нем мерзлой зоны, а отсюда тот или иной характер гидрогеологических условий бассейна.

Видимо, на очень больших глубинах могут иметь место обратные процессы — повышение температуры воды приводит к превращению ее в пар [1]. В таком случае водоносные горизонты, опустившиеся на очень большие глубины (вследствие тектонических причин), должны «высушиваться» за счет испарения из них воды [10].

Таким образом, устанавливается существование температурной географической зональности артезианских вод, находящейся в зависимости от климатических факторов. Поскольку растворимость солей, газов, биохимические и другие процессы, движение подземных вод тесно связаны с температурными условиями (а температурная климатическая зональность не вызывает сомнений), то можно говорить и о климатической закономерности физико-химических, биохимических и других явлений, протекающих в артезианских бассейнах.

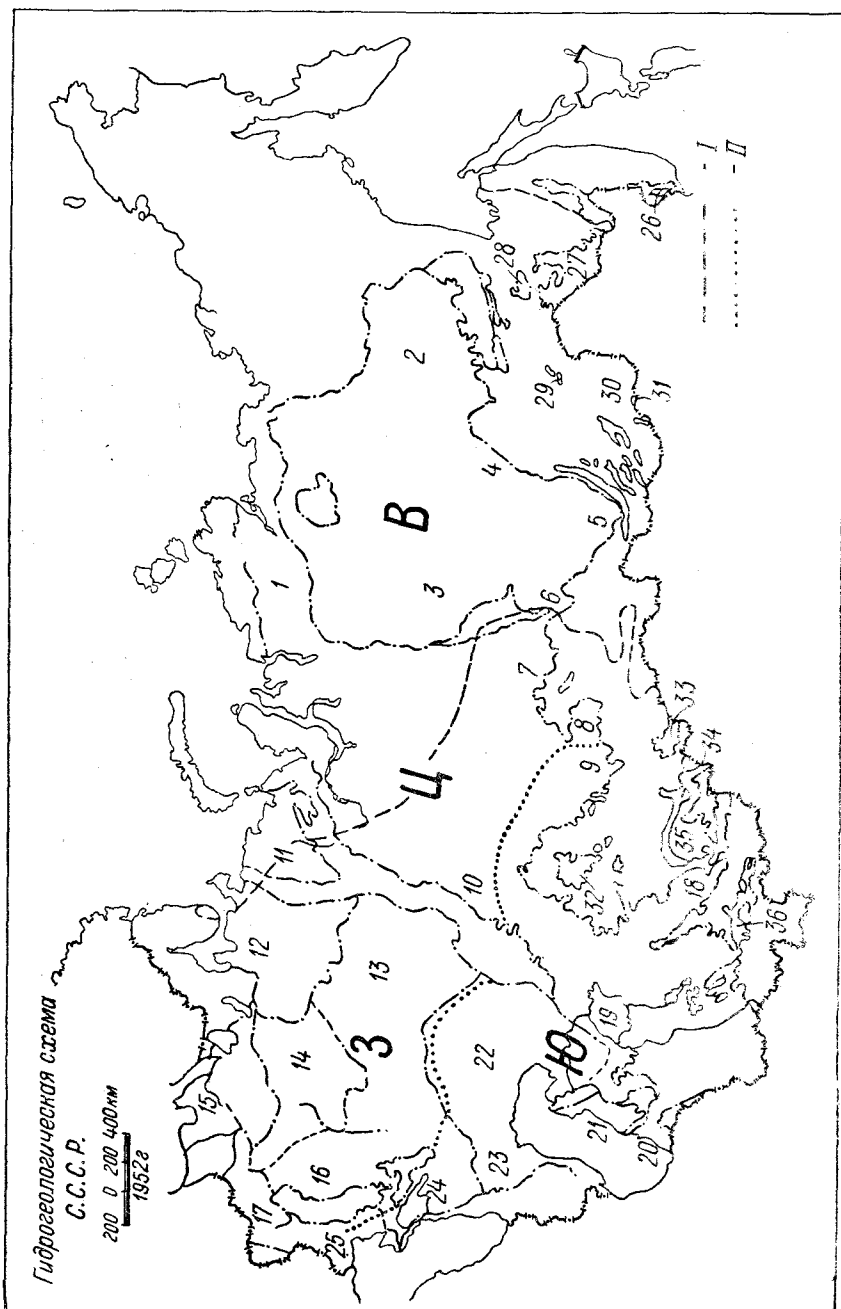
Химический состав артезианских вод также зависит в некотором отношении от географического положения артезианского бассейна. Известно, что в вертикальном разрезе артезианских бассейнов намечается гидрохимическая зональность [1, 2, 6, 11, 12, 14; 15; 17; 18]. При этом грубо можно выделить по степени минерализации¹ три зоны сверху вниз:

- A* — пресных вод менее 1 г/л
- B* — солоноватых вод от 1 до 10 г/л;
- B*₁ — слабо солоноватых 1—4 г/л;
- B*₂ — сильно солоноватых 4—10 г/л;
- B* — соленых вод и рассолов больше 10 г/л;
- B*₁ — соленых 10—50 г/л;
- B*₂ — слабых рассолов 50—100 г/л;
- B*₃ — крепких рассолов свыше 100 г/л.

Изучая размещение гидрохимической зоны *A* — пресных вод на территории СССР, можно убедиться в том, что положение ее для Европейской части СССР в основном совпадает с положением климатических зон — влажной и избыточного увлажнения [19]. Наличие этой зоны, например, характерно для западной группы артезианских бассейнов: Прибалтийского, Московского, Северо-Двинского, Волго-Камского, Печорского, Западно-Белорусско-Украинского и Днепровско-Донецкого (см. прилагаемую схему). Мощность зоны *A* для большинства артезианских бассейнов этой группы² определяется 200—300, 400 и доходит до 500 м. В южной группе артезианских бассейнов — Приазовском, Терско-Кумском, Прикаспийском, Приаральском, находящихся в полусухой и сухой климатических зонах [19], наблюдается уменьшение мощности гидрохимической зоны *A* и площади ее распространения с запада на восток. При этом в центральных частях указанных артезианских бассейнов гидрохимическая зона *A* отсутствует [8]. Артезианские воды здесь солоноватые и соленые. Изучение южной части Западно-Сибирского артезианского бассейна также достаточно четко вскрывает гидрохимическую

¹ Эта грубая схема выдерживается далеко не повсеместно.

² Зона *A* охватывает не только грунтовые, но и некоторые артезианские водоносные горизонты, залегающие ближе к поверхности земли.



Артезианские бассейны открытого типа (артезианские моря)

Восточная группа В: 1 — Хатангский; 2 — Якутский; 3 — Тунгусский 4 — Верхне-Ленский; 5 — Иркутский; 9 — Канский

Центральная группа Ц — Западно-Сибирский сложный артезианский бассейн, включающий в число прочих артезианские бассейны; 7 — Чулымский; 8 — Барнаульский; 9 — Кулундинский; 10 — Приуральский

Западная группа З: 11 — Печорский; 12 — Северо-Двинский; 13 — Волго-Камский; 14 — Московский; 15 — Прибалтийский; 16 — Днепровско-Донской; 17 — Западно-Белорусско-Украинский;

Южная группа Ю: 18 — Чуйский; 19 — Приаральский; 20 — Южно-Закаспийский; 21 — Северо-Закаспийский; 22 — Прикаспийский; 23 — Терско-Кумский; 24 — Приазовский; 25 — Причерноморский

Артезианские бассейны замкнутого типа¹ (артезианские озера):

26 — Приханкайский; 27 — Нижнезейский; 28 — Верхнезейский; 29 — Букачачинский; 30 — Харанский;

31 — Торейские; 32 — Акмолинский; 33 — Зайсанский; 34 — Алакульский; 35 — Балхашский;

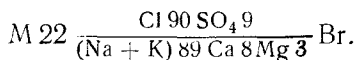
36 — Ферганский

Условные обозначения: I — граница между I и II гидрогеологическими поясами подземных вод; II — граница между „северной“ и „южной“ гидрогеологическими зонами.

¹ На схеме показаны лишь некоторые артезианские озера.

зональность его подземных вод, находящуюся в зависимости от климатических зон. Так, Чулымский артезианский бассейн второго порядка, входящей в состав Западно-Сибирского артезианского бассейна и находящийся в климатической зоне избыточного увлажнения [19], характеризуется развитием мощной гидрохимической зоны *A* (свыше 200 м). До подстилающего фундамента в окрестностях Новосибирска и Барнаула, которые находятся в переменном влажном климате, на глубину свыше 200 м прослеживается зона *A*. Артезианские воды здесь широко используются для питьевого водоснабжения. Наоборот, в Приишимской степи, находящейся в полусухой климатической зоне [19], мощность гидрохимической зоны *A* мала и имеет к тому же спорадическое распространение. Здесь пользуются большим развитием гидрохимические зоны *B*₁ и *B*₂.

Зависимость состава артезианских вод от климатических условий может быть показана также на примере артезианских бассейнов замкнутого типа (артезианских озер) Забайкалья и Монголии. Артезианские бассейны эти сложены юрско-меловыми и местами третичными отложениями. Те из артезианских бассейнов, которые находятся в избыточно-влажностной климатической зоне, обладают поверхностным и подземным стоком, достаточно совершенным водообменом. Они характеризуются наличием пресных подземных вод на всю мощность артезианских бассейнов до подстилающего их кристаллического основания (порядка нескольких сот метров). Таковы многие артезианские бассейны Северного Забайкалья. Наоборот, некоторые артезианские бассейны Южного Забайкалья и Монголии, находящиеся в переменном-влажностной и полусухой зоне, приурочены к бессточным котловинам. Они обладают весьма слабым водообменом и характеризуются малой мощностью гидрохимической зоны *A* и даже ее отсутствием во внутренних частях. В этих бассейнах развитие получает гидрохимическая зона *B* и отчасти *B*. При этом с изменением минерализации изменяется и состав. Наиболее интересным примером может служить состав воды зоны *B* одного из артезианских бассейнов Монголии (по Н. А. Маринову [15]). Состав воды этого бассейна по формуле Курлова следующий:



Вода взята с глубины 216—324 м. На этих глубинах в Забайкалье обычно встречаются пресные артезианские воды гидрокарбонатные натриево-кальциевого состава.

Причинами, обуславливающими различный гидрохимический профиль артезианских бассейнов в зависимости от их географического положения в той или иной климатической зоне, повидимому, являются условия питания и стока подземных вод, как функции современного и прошлого климатов. Питание артезианских вод атмосферными осадками, речными и озерными водами происходит через грунтовые воды. Оно более обильно в артезианских бассейнах, находящихся во влажной и избыточно-влажностной климатических зонах. Потери на испарение здесь сравнительно малы. Грунтовые воды этих зон, как правило, пресные [4, 7]. Это создает благоприятные условия для питания и стока подземных вод и образования мощной гидрохимической зоны *A* — пресных вод северных артезианских бассейнов. Южные артезианские бассейны находятся в сухой и полусухой климатических зонах. Питание их недостаточно, испарение велико [7], сток понижен, состав вод «пестрый» [4, 7]. Следствием этого является малая мощность, недостаточная развитость гидрохимической зоны *A* и в ряде случаев полное ее отсутствие. [Так, в Приаральском

артезианском бассейне грунтовые воды в процессе своего движения от краевых частей бассейна, где происходит их питание, к внутренним частям вследствие сильного испарения постепенно засоляются. Можно наблюдать при этом все стадии процесса изменения состава вод от гидрохимической зоны *A* до *B* (В. Н. Кунин [8]).

Соленые воды присущи также артезианским водоносным горизонтам внутренней части этого бассейна. На южной же, восточной и северо-западной окраинах — там, где имеет место миграция пресных подземных вод со стороны прилегающих гидрогеологических складчатых областей, периодически наблюдаются пресные артезианские водоносные горизонты (иногда под солеными), как на это указывает А. Л. Яншин [20] и др.

Чрезвычайно ярко сказывается значение условий питания артезианских вод на примере Приазовского бассейна. Он располагается в пределах полусухой климатической зоны и характеризуется во внутренних своих частях слабо развитой гидрохимической зоной *A*. Однако южное крыло этого бассейна находится на северном склоне Большого Кавказа в условиях хорошего увлажнения и интенсивной миграции подземных вод со стороны Кавказской складчатой области. Вследствие этого на юге Приазовского бассейна подземные воды отличаются высоким качеством, а гидрохимическая зона *A* достигает значительной мощности. Наоборот, северное крыло бассейна прислонено к Донецкой гидрогеологической складчатой области. Оно находится в полусухой климатической зоне. Питание подземных вод на этом крыле ослаблено, а гидрохимическая зона *A* недоразвита. Приазовский артезианский бассейн является типичным примером гидрохимической асимметрии, обусловленной климатическими и другими факторами.

Таким образом, устанавливается могучее воздействие климатических факторов (современных и недавнего прошлого), которое глубоко проникает в недра земной коры. Оно сказывается на температуре, гидрохимическом разрезе, гидрогеологических условиях, в частности на условиях питания артезианских бассейнов.

Артезианские бассейны в зависимости от указанных факторов могут быть разделены на два крупных пояса: 1) артезианские бассейны пояса отрицательных температур подземных вод; 2) артезианские бассейны пояса положительных температур.

Для первых типичны наиболее низкие температуры подземных вод, для вторых — более высокие, чем для первого пояса.

В пределах первого гидрогеологического пояса (мерзлой зоны) можно выделить три гидрогеологические зоны: 1) внутреннюю; 2) промежуточную; 3) краевую. Первая зона этого пояса характеризуется тем, что пресные артезианские и грунтовые воды ее полностью заморожены. Имеются межмерзлотные и подмерзлотные артезианские воды в жидкой фазе с температурами от -10 до 0° и выше. Воды по своему составу солоноватые и соленые. Пресные надмерзлотные воды приурочены к деятельному слою, подозерным и подрусловым таликам, а также периодически к конусам выноса. Назвать надмерзлотные воды грунтовыми в обычном понимании этого термина нельзя.

Эту зону следует рассматривать как зону наиболее холодных артезианских вод земного шара.

Вторая гидрогеологическая зона первого пояса отличается от первой тем, что нижние горизонты ее пресных артезианских вод не заморожены и доступны эксплуатации в целях водоснабжения, тогда как верхние горизонты пресных артезианских вод и воды грунтовые заморожены. Температура пресных артезианских водосносных горизонтов от 0 до $3-5^{\circ}$.

Наконец, в третьей краевой или фронтальной зоне проморожены только грунтовые воды, да и то не повсеместно, ибо мерзлая зона островная или с островами таликов. Артезианские воды верхней гидрохимической зоны *Д* остаются здесь талыми. Их температура от 0 до 7°. Мощность гидрохимической зоны пресных артезианских вод достигает 300 м, а в отдельных случаях и выше.

Естественно, что при современном состоянии гидрогеологических знаний нанести точные границы между тремя гидрогеологическими зонами первого пояса не представляется возможным.

В пределах второго пояса — пояса положительных температур подземных артезианских вод, находящегося вне области распространения мерзлой зоны, могут быть выделены две гидрогеологические зоны: 1) зона северных артезианских бассейнов; 2) зона южных артезианских бассейнов.

Гидрогеологическая зона северных артезианских бассейнов, четвертая по общему счету (см. схему), приурочена к климатическим зонам влажной, избыточно-влажной и переменнo-влажной. Для нее типично развитие достаточно мощной гидрохимической зоны *А* — пресных вод умеренной температуры. Северные артезианские бассейны можно рассматривать как зону взаимосвязи пресных грунтовых с пресными артезианскими водами.

Южные артезианские бассейны пятой гидрогеологической зоны приурочены к климатическим зонам полусухой и сухой. Для них характерно отмирание гидрохимической зоны *А*, почти исключительное развитие гидрохимических зон *Б* и *В*, наиболее высокие (для СССР) температуры грунтовых и артезианских вод. Это зона взаимосвязи пестрых по составу грунтовых вод с артезианскими солоноватыми и солеными водами. Некоторые артезианские бассейны расположены целиком в пределах одной гидрогеологической зоны — гидрогеологически однозональные. Так, например, Московский, Прибалтийский бассейны находятся в пределах четвертой северной гидрогеологической зоны или Приаральский — в пределах пятой южной гидрогеологической зоны. Это, конечно, не исключает возможности с точки зрения гидродинамики или гидрохимии выделить в пределах упомянутых бассейнов несколько соответствующих гидродинамических и гидрохимических зон.

Другие артезианские бассейны находятся в пределах нескольких гидрогеологических зон. Это будут гидрогеологические многозональные артезианские бассейны (см. таблицу). Так, Печорский артезианский бассейн находится в пределах гидрогеологических зон II—IV. Западно-Сибирский артезианский бассейн находится в пределах гидрогеологических зон I—V. Артезианские бассейны замкнутого типа принадлежат к числу гидрогеологически однозональных. Они известны для гидрогеологических зон II—V (см. схему).

Автор не отрицает наличия и других факторов, приводящих к зональности артезианских бассейнов, а также и других форм зональности (гидродинамической, гидрохимической) [1, 2, 5, 11, 18], но обращает внимание на исключительно крупную роль климатических факторов в формировании артезианских вод, в частности, пресных артезианских вод на севере и солоноватых и соленых — до рассолов включительно — на юге.

Артезианские воды в меньшей степени, чем грунтовые, но все также подчинены факторам климатической зональности. И те, и другие воды следует рассматривать в их единстве. Прекрасная мысль А. И. Воейкова о том, что «реки являются продуктом климата», может быть распространена с некоторым основанием на грунтовые и даже на артезианские воды — те и другие являются продуктом климатов и гидрогеологической истории.

Гидрогеологическая зональность артезианских бассейнов СССР
(составлена Н. И. Толстихиным в 1948—1952 г.)

Гидрогеологический пояс	Гидрогеологические зоны	Характеристика гидрогеологических зон	Артезианские "моря" — бассейны открытого типа		Артезианские "озера" — бассейны замкнутого типа, однозональные (примеры)	Климатические зоны
			однозональные	многозональные		
Первый пояс отрицательных температур подземных вод (мерзлая зона)	I. Внутренняя	Пресные артезианские воды проморожены. Имеются соленые межмерзлотные и подмерзлотные артезианские воды с температурами от —10° и выше	Хаганский		Неизвестно	Влажная
			Якутский		Чульманский, Архагалинский, Эльгенский, Букачагинский	Избыточно-влажная
			Канский, Иркутский	Северо-Двинский	Харанорский, южное Забайкалье	Избыточно-влажная и переменновлажная
	IV. Северная	Гидрохимическая зона А пресных вод хорошо развиты. Мощность ее 100—500 м. Температура от 0 до 20°, избыточное питание, малое испарение	Прибалтийский, Московский, Волго-Камский, Днепровско-Донецкий, Западнорусско-Украинский	Печорский	Ниже-Зейский, Приханкайский, Прибайкальский	Влажная, избыточно-влажная и переменновлажная
			Приазовский, Прикаспийский, Приаральский, Закаспийский		Ферганский, Торейские	Подсухая, сухая
V. Южная	Гидрохимическая зона пресных вод слабо развита, отсутствует во внутренних частях артезианских бассейнов. Наиболее высокие температуры артезианских вод. Недостаточное питание, большое испарение					

ЛИТЕРАТУРА

1. Альтовский М. Е. К вопросу о формировании химического состава подземных вод. Вопросы гидрогеологии и инженерной геологии, Сборник 13. Госгеолгиздат, 1950.
2. Афанасьев Т. П. О химической зональности подземных вод Среднего Поволжья. Доклады АН СССР, 1947, т. VI, № 6.
3. Вернадский В. И. О пределах биосферы. Известия АН СССР, серия геологическая, 1937, № 1.
4. Гармонов И. В. О зональности грунтовых вод Европейской части СССР. Труды Лаборатории гидрогеологических проблем. Изд. АН СССР, 1948, т. III.
5. Игнатович Н. К. О региональных гидрогеологических закономерностях в связи с оценкой условий нефтеносности. «Советская геология», 1945, № 6.
6. Игнатович Н. К. Зональность, формирование и деятельность подземных вод в связи с развитием геоструктуры. Вопросы гидрогеологии и инженерной геологии, Сборник 13. Госгеолгиздат, 1950.
7. Каменский Г. Н. Зональность грунтовых вод и почвенно-географические зоны. Труды лаборатории гидрогеологических проблем. Изд. АН СССР, 1950, т. VI.
8. Кунин В. Н. О глубине физико-географического воздействия в условиях песчаной пустыни. Известия АН СССР, серия географическая и геофизическая, 1948, т. XII, № 1.
9. Ланге О. К. О зональном распределении грунтовых вод на территории СССР. Общество испытателей природы, Новая серия, 1947, вып. 8 (12).
10. Лукашевич И. Неорганическая жизнь земли. С.-Петербург, 1909.
11. Макаренко Ф. А. О закономерностях подземного питания рек. Доклады АН СССР, 1947, т. VII, № 5.
12. Макаренко Ф. А. Некоторые результаты изучения подземного стока. Труды лаборатории гидрогеологических проблем АН СССР, 1948, т. I.
13. Максимович Г. А. Зональность почвенных, грунтовых, речных и озерных вод и гидродинамические зоны. Доклады АН СССР, 1947, т. VIII, № 5.
14. Максимович Г. А. К характеристике гидрохимических фаций пластовых вод стратисферы. Доклады АН СССР, 1944, т. XV, № 6.
15. Маринов Н. А. К вопросу о генезисе нижнемеловых вод Восточной Монголии, «Советская геология», 1947, № 24.
16. Овчинников А. М. О гидротермальном режиме земной коры. Доклады АН СССР, 1946, т. III, № 7.
17. Саваренский Ф. П. О принципах гидрогеологического районирования. «Советская геология», 1947, № 19.
18. Сулин В. А. Гидрогеология нефтяных месторождений, Гостоптехиздат, 1948.
19. Троицкий В. А. Гидрологическое районирование СССР. Изд. АН СССР, 1948.
20. Яншин А. Л. Тектоника и использование артезианских вод в пустынной зоне Южного Казахстана. Вестник АН СССР, 1952, № 4.

Поступило 2 XII 1952 г.