

Ф. А. МАКАРЕНКО

О ЗАКОНОМЕРНОСТЯХ ПОДЗЕМНОГО ПИТАНИЯ РЕК

(Представлено академиком Д. С. Белянкиным 26 II 1947)

Реки и подземные воды находятся в непрерывном взаимодействии. На фоне частных закономерностей связи между речными и подземными водами существуют закономерности общерегионального порядка. Эти закономерности до сих пор не привлекали к себе достаточного внимания.

Ниже излагается общая концепция связей подземных вод с речным стоком, разработанная автором пока только фрагментарно.

1. Речные системы, как и различные территории суши, можно разделить, по признаку преобладающей направленности связей с подземными водами, на следующие характерные группы:

а) системы и территории с преобладающей направленностью дренирования подземных вод в реки (горные страны, достаточно расчлененные равнины);

б) системы и территории с прямой и обратной направленностью связей между подземными водами и водами рек (слабо расчлененные равнины с периодическим стоянием вод в реках выше и ниже уровня грунтовых вод) и

в) системы и территории с преимущественной разгрузкой речных вод в грунтовую зону стока (предельные равнины, где реки текут в прирусловых аллювиальных дамбах и аллювиальных шлейфах⁽¹⁾, на отметках выше уровня грунтовых вод).

Районирование тех и других вод по этому признаку позволит регионально оценить преобладающие направленности не только режимов формирования речных и подземных вод, но и их геологической деятельности, что сейчас менее известно в отношении вод подземных.

2. В речных бассейнах первой и второй групп зона активной связи между подземными и речными водами достаточно отчетливо отбивается снизу глубиной эрозионного вреза русел рек и еще точнее проводится по уровенной поверхности последних. В региональных построениях можно пренебречь расхождением этих двух уровней, которое измеряется повсеместно немногими метрами. Так как эрозионный врез следует преимущественно очертаниям поверхности рельефа, он углубляется в сторону гор, но к водоразделам снова выклинивается и предельно уменьшается на равнинах и у морей, а также в бессточных котловинах, где сливается с уровнями последних; поэтому легко понять, что бассейны зоны активного подземного стока в реки идеально совпадают во всех пространствах суши с бассейнами склонового стока в реки и в плане очерчиваются одними и теми же общими речными водоразделами. Эрозионный врез в сторону гор достигает сотен метров и, местами, 1000—1500 м, а на равнинах измеряется обычно немногими десятками или единицами метров. Так, например,

⁵ ДАН СССР, т. LVII, № 5

средняя глубина эрозионного вреза на Русской равнине не превышает 55 м. Горные страны характеризуются, следовательно, чрезвычайно мощной зоной активного подземного стока в реки, тогда как на равнинных территориях эта зона составляет относительно тонкую пленку динамичных вод на малоподвижных глубоких водах.

3. Многоярусность эрозионного речного вреза вызывает дополнительное расчленение зоны активного подземного стока в реки. Если нижнюю границу этой зоны проводить по уровенному врезу крупных рек, а по отношению к горным массивам в целом — на отметках выклинивания подземных вод у подножий горных массивов, то на отметках вреза притоков крупных рек, а затем на отметках эрозионного вреза мелкой речной сети можно провести еще минимум две характерные дренирующие поверхности, выше каждой из которых сток подземных вод в реки, несомненно, более интенсивен ввиду лучшей расчлененности водоносных пластов выше каждого вреза. В пространстве все вертикальные гидродинамические зоны подземного стока в реки имеют сложные очертания, однако они вполне улавливаются при пользовании гипсометрической картой.

Довольно просто выделяются для всех достаточно расчлененных территорий суши три зоны подземного стока в реки:

1. верхняя — интенсивного стока, с нисходящим движением вод, направленных в разные стороны к местным рекам (выше местного эрозионного вреза рек);

2. средняя — замедленного стока, нисходящего только к крупным рекам и более упорядоченного в смысле направленности (ниже первой, но выше вреза крупных рек и уровня моря);

3. нижняя — относительно застойных вод, всегда восходящих к рекам (более глубокая).

Особо выделяется слой „сезонного стока“ в верхней части первой зоны, занимающий интервал глубины между высоким и низким стояниями уровня грунтовых вод. Его сезонность свидетельствует об его наибольшей динамичности. Срезка мощности этого слоя в умеренных влажных широтах, где испарение с почвы и транспирация относительно незначительны, идет главным образом на питание рек.

4. В двух верхних зонах и отдельных слоях подземного стока в реки сток закономерно дифференцируется по динамичности также в горизонтальном направлении. Дифференциация вызывается, прежде всего, частотой эрозионного вреза. Обычно частота и глубина эрозионного вреза увеличиваются к окраинным приподнятым частям речных бассейнов, особенно к водоразделам рек, где мощность зоны активного подземного стока снова уменьшается, но общая динамичность стока остается повышенной и в средней зоне. Фильтрационные свойства горных пород накладывают повсюду лишь дополнительные влияния, хотя и не менее существенные. В соответствии с огромными возможностями дренирования верхней и средней зон в верховьях рек в сравнении с остальными площадями речных бассейнов, здесь режим подземного стока в реки приближается к режиму склонового стока, т. е. существенно повторяет режим атмосферного питания рек и подземных вод. Такое же сравнение можно провести в целом между режимами подземного стока в горных странах и на равнинах. Отсюда следует вывод, что главные русла рек уже в паводочной волне несут огромные массы подземных вод, привнесенных почти одновременно с дождевыми и талыми водами бесчисленной сетью боковых и верховых притоков. Сейчас эта часть подземной составляющей стока в реки обычно не учитывается. Наоборот, без достаточных на то оснований, паводочный период на реках многие исследователи исключают из времени подземного питания рек (^{2,3}).

5. Преимуществовая роль участия верхней зоны подземного

стока в питании рек вполне устанавливается путем модулирования подземного стока в реки из каждой зоны в отдельности. Эта возможность открывается в связи с характерным различием химического и газового состава подземных вод по зонам, а также их сезонных динамических, термических и других режимов, что давно уже подчеркнул Б. Л. Личков⁽⁴⁾, выделивший, однако, только две зоны подземных вод: верхнюю — динамическую во всех проявлениях и нижнюю — застойных вод, и также указавший, что первая зональна к изменениям ландшафта и климата, а вторая — а зональна. Указанные различия, вызываемые неизменно фактором динамичности воды, позволяют пользоваться ими в качестве достаточно надежных критериев в оценке зональной принадлежности вод.

6. Пользуясь указанными различиями, автор изучил величины подземного стока в реки из верхней, средней и нижней зон в целом ряде горных и равнинных бассейнов, в том числе в пределах значительной части территории Русской равнины, где в нижней зоне развиты преимущественно высокоминерализованные воды и рассолы, а в верхней — пресные воды, либо слабо минерализованные, здесь изменяющиеся в химическом составе не столько от состава горных пород, сколько в зависимости от состояний динамичности и смены климатических поясов^(5,6). Но реки Русской равнины несут в меженные периоды, как и в периоды паводков, пресные воды, что, собственно, и определяет их преимущественное питание из верхней зоны подземного стока и, отчасти, из средней. Модули подземного стока этой зоны здесь исчисляются единицами и долями литра в секунду, уменьшаясь в южном направлении, тогда как в нижней зоне они не превышают тысячных долей литра в секунду (глубокие воды палеозоя Подмосковского бассейна, Днепровско-Донецкой мульды, Северо-Прикаспийской низменности). Цифры приближенные, но они ясно выражают порядок соотношений, показывающий, что реки суши питаются подземными водами из верхней зоны стока, названной зоной „преимущественно грунтового стока“, более чем на 99,5%. Соответственно, они отражают в меженных стоках преимущественно химический состав вод верхней или „грунтовой“ зоны стока. Недавно показанные Г. А. Максимовичем⁽⁷⁾ „гидрохимические фации“ рек являются в полной мере „гидрохимическими фациями“ грунтовых вод территорий. Глубокие воды вызывают только местные нарушения в водном балансе и в химическом составе рек.

7. В горных и предгорных странах участие вод всех подземных зон, естественно, более интенсивно, так как здесь значительны гидравлические давления на все зоны в областях их питания. Общий порядок соотношений остается, однако, повсюду довольно устойчивым. Еще в 1937 г. автор впервые обнаружил и детально изучил трехчленную зональность подземного стока в артезианском бассейне подземных минеральных вод Сочи — Мацесты⁽⁸⁾, где нижняя зона содержит соленые сероводородные воды (ниже уровня моря), средняя — слабо минерализованные, местами окисленные, с присутствием ионов сульфата, хлоридов и сероводорода и верхняя — пресные, гидрокарбонатно-кальциевые, весьма окисленные воздушным O_2 . Здесь вычислены также сроки полного возобновления вод каждой зоны (через соотношение общих изученных запасов вод и возобновляющейся их части). Оказалось, что полное возобновление вод в верхней зоне заканчивается в дни (весьма закарстованная зона), средней — в сезоны (менее и иначе закарстованная) и в нижней — в тысячелетия; модули верхней 50—55 л/сек., средней — единицы л/сек., но местами — до 10—15 л/сек., в нижней — максимально 0,1—0,2 л/сек. Эти данные характеризуют динамику подземного стока толщи мезозойских известняков.

8. Вывод о преимущественном питании рек из зоны „преимущественно грунтового стока“ позволяет при изучении величины подземного стока в реки ограничиваться учетом режима только верхней зоны. Ее режим отражают нисходящие подземные родники. Кривая суммарного дебита родников изучаемой площади бассейна — кривая режима стока верхней зоны в реку. Основываясь на этой зависимости, можно применить следующий достаточно точный метод оценки величин подземного питания рек:

$$Q = qK_1 + \dots + qK_n,$$

где Q — сток подземных вод с площади или отрезка реки за заданное время, q — единичный меженный расход или сток реки, принимаемый в этот период за грунтовой, K_1, \dots, K_n — коэффициенты изменений режима стока, где K , отвечающее времени меженного стока реки, приравнивается 1,0. Метод позволяет построить гидрограф подземного стока в реку, очевидно, и в том случае, когда общий гидрограф стока реки остается неизвестным. Кривые, построенные по этому методу, повторяют, с некоторым запозданием, кривую расходов воды на реках и дают суммарные величины подземного стока в реки, как правило, в 1,5—2,5 раза больше, чем если они подсчитываются по гидрографу общего стока рек от линии меженных расходов. Приближенное внесение этих поправок к имеющимся данным величин подземного стока Русской платформы показывает, что в общем стоке рек территории подземные воды составляют от 50% и больше.

Необходимо усилить внимание к проблеме изучения закономерностей и величин подземного питания рек как со стороны гидрологии, так и со стороны гидрогеологии. В изучении подземных вод и их деятельности темпы и направленности подземного стока показывают темпы и направленности подземной работы воды, условия ее преимущественного питания и сроки подземной жизни, а величины подземного стока в реки выражают наиболее интересную часть ресурсов подземных вод.

Лаборатория гидрогеологических проблем
им. Ф. П. Саваренского
Академии Наук СССР

Поступило
26 II 1947

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ И. С. Ш укин, Общая морфология суши, 2, ОНТИ, 1938. ² М. А. Великанов, Водный баланс суши, Гидрометеиздат, 1940. ³ Б. В. Поляков, Гидрологич. исслед. Нижней Волги, 1936. ⁴ Б. Л. Личков, Основные черты классификации подземных вод СССР, Изд. Гос. гидр. ин-та, в. 2, 1933. ⁵ Н. К. Игнатович, ДАН, 45, № 3 (1944). ⁶ Годовой отчет АН СССР за 1945 г., 1946. ⁷ Г. А. Максимович, Гидрохимические фации рек, 1944. ⁸ Тр. Сочинской бальнеол. эксп. Ин-та геол. наук АН СССР, 3, 1937—39.