

МЕТОДИКА ОПЫТНО-ФИЛЬТРАЦИОННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ДЛЯ ОСНОВНЫХ ТИПОВ ПОТОКОВ  
ПОДЗЕМНЫХ ВОД ГОРНЫХ ГЕОСИСТЕМ ТЯНЬ-ШАНЯ И ПАМИРО-АЛАЯ

*Оролбаева Л.Э.*

*Институт горного дела и горных технологий им. ак. У. Асаналиева  
Бишкек. Кыргызская Республика*

*Дана методика постановки и проведения опытно-фильтрационных наблюдений и гидродинамической съёмки, предназначенных для оценки геофильтрационных параметров для условий основных типов потоков подземных вод горных геосистем.*

*In addition there were given the principal bases of the method of organizing and carrying out experimental-filtration observations and hydrodynamic survey for assessing geofiltration parameters for the conditions of the main types of groundwater flow mountain geosystems.*

Постановку и проведение опытно-фильтрационных наблюдений (ОФН) независимо от задач, типа потока и постановки необходимо предварять геофильтрационной схематизацией. Применительно к постановке и методике проведения ОФН геофильтрационная схема позволит ответить на вопросы где и когда проводить ОФН, что и как наблюдать в их процессе. Геофильтрационная схематизация потока характеризует изменение потока во времени, пространственную структуру потока, его внутреннее строение и граничные условия [1]. Схематизация потока по времени весьма важна для выделения чётко фиксированных периодов стационарного и нестационарного режимов, поскольку именно в эти периоды целесообразно проведение ОФН для определения параметров стационарной и нестационарной фильтрации.

Пространственная структура потока, его внутреннее строение определяют пространственную структуру (дизайн) расположения наблюдательных скважин (НС). Вероятная структура потока, основное направление его движения определяется на основе анализа гидродинамических карт. Определение граничных условий определит размещение и дизайн участка исследований, необходимую комплектацию видов работ и наблюдений, входящих в ОФН. Основным видом ОФН для периода стационарной фильтрации является гидродинамическая съёмка.

Гидродинамическая съёмка (ГДС) представляет собой единовременный снимок структуры потока с единовременными замерами уровней подземных и поверхностных вод, а на участках, приуроченных к водотокам, и параллельными замерами расхода водотока в створах, ограничивающих участок. В состав ГДС включается бурение неглубоких пьезометрических скважин, гидрометрические, топографические работы и режимные наблюдения [2]. Гидрометрическая оценка взаимодействия речных и подземных вод позволяет непосредственно определить величину разгрузки подземных вод в русло реки или оценить фильтрационные потери речного стока.

По данным ГДС, проведенной в период стационарной фильтрации, может быть дана оценка фильтрационной неоднородности водоносных пластов, наиболее достоверная оценка сопротивления ложа водотока ( $\Delta L$ ), величина водопроводимости пласта ( $T$ ) и характеристики величины инфильтрационного питания ( $I$ ).

Гидродинамическая съёмка на участках с неглубоким залеганием уровня включает использование достаточного для представления о структуре геофильтрационного потока скважин. При этом фильтровая часть НС устанавливается с небольшим заглублением в водоносный пласт. Как показывает опыт полевых исследований, такие скважины при

соответствующем строении целесообразно бурить без обсадки, используя мотобурь со шнеками, имеющими диаметр от 100 до 250 миллиметров. Исключение составляют скважины с обсадкой, оборудуемые для наблюдений в период нестационарного режима.

Как отмечалось выше, гидродинамическая съёмка проводится при наличии чётко фиксируемых периодов стационарного режима. Однако, в интервалы времени, выделенные как периоды стационарного режима, возможно проявление нестационарного режима в НС, связанного с нестабильным водоотбором на орошение, либо иными причинами. В связи с этим при интерпретации результатов необходимо проводить диагностику данных наблюдений, обосновывающую стационарность режима. Такая диагностика стационарности наиболее просто и эффективно осуществляется по критерию стабильности соотношений разности напора в двух парах НС:

$$\Delta \bar{H} = \frac{H_1 - H_2}{H_2 - H_3}$$

где  $H_1, H_2, H_3$  - напоры в наблюдательных скважинах

Тестовым анализом установлено, что периоды с колебанием значений  $\Delta \bar{H}$  в пределах 5% могут приниматься стационарными (квазистационарными), при котором погрешность расчетных значений геофильтрационных параметров не превышает 5% [4]. Режимные наблюдения в период паводка дают существенную информацию о паводочном восполнении запасов грунтовых вод, а также позволяют оценить изменения параметров связи грунтовых вод с рекой и с напорными водами. В такой период замеры уровней воды в реке и в НС должны проводиться с частотой, обеспечивающей непрерывность их изменений во времени. Как правило, такие наблюдения должны быть ориентированы на модельную интерпретацию данных наблюдений, методика которой не редко требует особого научно-методического обоснования. Перед замерами нестационарного режима наблюдательные скважины следует опробовать путем проведения экспресс-наливов для оценки *гидродинамической инерционности НС*.

Гидродинамическая инерционность НС характеризуется разницей напоров  $\Delta H_c$  в водоносном пласте и НС при нестационарном режиме уровней. Для ее оценки предварительно определяется параметр инерционности  $\theta$ , величина которого может быть получена обработкой данных экспресс-налива. Экспресс-налив проводится единовременным наливом некоторого объема воды в опробуемую скважину, с последующими замерами восстановления уровня [1]. Данные замеров изменения уровня  $H_c(t)$  относительно статического положения, начиная от значения  $H_c^0$  в момент времени  $t=0$  начала замеров,

обрабатываются построением графика зависимости  $\lg(H_c^0/H_c)$  от  $t$ , на котором опытные точки должны ложиться на прямую линию, проходящую в начало координат. Снимая с этой прямой любую точку, определим далее величину  $\theta$  по формуле

$$\theta = (2,3/t) \times \lg(H_c^0/H_c).$$

Зная величину  $\theta$ , можно оценить величину гидродинамической инерционности из соотношения:

$\Delta H_c = v_{nc} / \theta$ , где  $v_{nc}$  - скорость изменения уровня воды в НС.

*Потоки подземных вод речных долин межгорных впадин* характеризуются значительными уклонами, существенными изменениями живого сечения, обусловленными фациальной изменчивостью аллювия, наличием структурных перемычек и сопутствующих им фациальных замещений и др. В связи с этим, изменяется направленность взаимосвязи подземных вод с водотоками, что в значительной степени определяет особенности формирования потоков подземных вод. В пределах долины формируется тесная и сложная балансовая взаимосвязь подземных вод с рекой, которая проявляется в многократном чередовании (вниз по долине) участков дренирования подземного потока рекой и потерь речного стока на его пополнение [2,3].

Для изучения структуры потока и оценки геофильтрационных параметров в качестве участков исследования рассматриваются достаточно однородные по строению элементы потока с четко интерпретируемой структурой баланса, расходная составляющая которого формируется преимущественно за счет разгрузки подземных вод в гидрографическую сеть и может быть оценена с помощью гидрометрических наблюдений на водотоках. Таким образом, расчетные участки выделяются как крупные ленты тока, замыкаемые отрезком русла реки, для которого по гидрометрическим данным устанавливается расход потока, поступающего в реку по выделенным лентам тока, а по результатам исследования структуры потока — среднее значение градиента напора.

Возможность оценки расхода по гидрометрическим данным требует, чтобы практически единственным расходным элементом баланса потока являлся подземный поток в реку. Для его количественной оценки используются методы, основанные на решении уравнений руслового водного баланса гидрографической сети. Это метод замыкающего створа и метод частного водосбора, позволяющий определить расход подземного притока в реку по разности межженного расхода реки между двумя гидрометрическими створами. Достоверность установленных приращений зависит, с одной стороны, от точности измерения расхода в створе, с другой — от соотношения полученного приращения с расходом воды в реке. Таким образом, выбор расчетного участка по ширине в значительной мере лимитируется условием, при котором искомое приращение расхода между гидрометрическими створами, ограничивающими

участок на реке, должно составлять не менее 10% от расхода в верхнем створе. Результаты гидрометрических наблюдений в восточной части долины р. Чу показали, что расчетные интервалы русла для получения достоверных приращений расхода должны составлять не менее 1—1,2 км [2]. Для обоснования стационарности режима потока обязательны режимные наблюдения в скважинах и на гидропостах.

В период нестационарной фильтрации сроки проведения наблюдений, их продолжительность, частота замеров уровней воды в водотоках и в НС должны обосновываться на основе анализа наблюдений по ближайшим к участку исследований скважинам и гидропостам стационарной режимной сети.

Ближайшую к реке НС рекомендуется отодвигать от уреза реки за пределы зоны профильной деформации потока, где средние по глубине потока градиенты напора соответствуют уклонам свободной поверхности и, следовательно, съёмочные скважины могут буриться только до поверхности грунтовых вод. Размеры зоны профильной деформации для основных типов строения речных долин оценивались на основе моделирования, решением серии тестовых задач для основных типов строения аллювиальных отложений речных долин горных геосистем Тянь-Шаня и Памиро-Алая и их фильтрационных свойств.

Геофильтрационная схематизация типов разрезов проводилась на основе выделения хорошо проницаемых водоносных слоев, определяющих водообильность водоносной толщи и слабопроницаемых, как правило, суглинистых прослоев, обуславливающих гидравлическое разделение потока по вертикали на отдельные водоносные пласты. При существенной разнице в проницаемости водоносных и разделяющих слоев, движение в разделяющих слоях рассматривается только в вертикальном направлении [1]. Для обоснования этой предпосылки можно исходить из того, что при коэффициентах фильтрации разделяющих слоев  $k_p$ , значительно меньших коэффициентов фильтрации водоносных слоев  $k$  проводимость слоистой системы практически полностью определяется водоносными слоями. Поскольку погрешность указанной предпосылки оценивается соотношением проводимостей  $k_p m_p$  (разделяющего) и  $T$  (водоносного) слоев, при допустимой погрешности 5% эту предпосылку можно принимать при  $k_p m_p$  меньше 0,05  $T$ . Таким образом, с учётом этой предпосылки литолого-фациальное разнообразие аллювиальных отложений речных долин горных геосистем Тянь-Шаня и Памиро-Алая представленное от валунно-галечников до переслаивания песков и гравия с суглинками, можно характеризовать следующими геофильтрационными схемами: однородного пласта, однородного пласта с покровом суглинков, пласта, состоящего из переслаивающихся песчаных и гравийно-

галечниковых слоёв, однородного пласта с одним разделяющим слоем однородного пласта с двумя разделяющими слоями.

При решении тестовых задач рассматривались варианты соотношений коэффициентов фильтрации слоёв слагающих пласт. Зона профильной деформации при сравнительно однородном строении потока имеет размер порядка мощности потока. При наличии покровных суглинков её размеры изменяются незначительно и в зависимости от мощности покровных отложений и соотношения коэффициентов фильтрации, она может достигать 1.5 мощности потока. Существенно размеры зоны профильной деформации возрастают при наличии заглублённых суглинистых слоёв и при соотношении коэффициентов фильтрации в 0,01 составляют около 5 мощностей потока [3]. Если структура потока подземных вод достаточно проста и его направление нормально уреза реки, то расчёт сопротивления ложа реки  $\Delta L$  выполняется по формуле для створа скважин, расположенных по этому направлению [1]:

$$\Delta L = \frac{H_1 - H_0}{H_2 - H_1} (X_2 - X_1) - X_2. \quad (1)$$

При плановой структуре потока по данным гидродинамической съемки строится гидродинамическая сетка и выбираются расчетные ленты тока, ориентированные к реке. Если поток подземных вод направлен под углом к реке, либо лента тока на рассматриваемом вблизи реки интервале меняет свою ширину, исключается возможность проведения расчета  $\Delta L$  по зависимости (1).

В случае, когда расчетная лента тока, ориентированная к реке, нормальна ее урезу и в пределах расчетных сечений между скважинами 1, 2 и рекой имеет различную ширину ( $N_1$  и  $N$  соответственно), то расчёт выполняется по формуле [2,3]:

$$\Delta L = \frac{N_1}{N_2} \frac{H_1 - H_0}{H_2 - H_1} (X_2 - X_1) - X_1. \quad (2)$$

В случае, когда расчетная лента тока подходит к реке под некоторым углом, за счет чего ее сечение  $N_0$  на реке значительно превышает по величине сечения  $N_1$  и  $N_2$  между скважиной 1 и 2 и рекой оценка сопротивления ложа водотока должна выполняться по формуле [2,3]:

$$\Delta L = \frac{N_0}{N_1} \frac{N_1}{N_2} \frac{H_1 - H_0}{H_2 - H_1} (X_2 - X_1) - X_1. \quad (3)$$

По результатам гидродинамической съемки непосредственно определяется величина водопроводимости пласта  $T$ :

$$T = \frac{\Delta Q}{\Delta N (i'_{cp} + i''_{cp})}, \quad (4)$$

Где  $\Delta N$  – длина участка реки, отсекаемого расчетной лентой тока;  $i'_{cp} + i''_{cp}$  – средние уклоны грунтовых вод берегов реки;  $\Delta Q$  – расход грунтовых вод в пределах расчетной ленты тока, определенный по разнице расходов реки  $Q_p$  в верхнем и нижнем гидрометрических створах, ограничивающих участок реки.

Особую значимость приобретает применение ГДС при изучении береговой фильтрации в зоне гипорейка (водонасыщенной зоне, где смешиваются поверхностная вода и грунтовые воды [3,4]).

*Потоки подземных вод междуречий (водораздельные)* горных геосистем в отличие от аналогичных потоков платформенных областей, характеризуются существенно меньшей протяженностью и расстоянием между смежными речными долинами, значительными уклонами, которые в высокогорной зоне могут достигать десятых долей единицы. Междуречные потоки приурочены к аллювиально-пролювиальным, пролювиальным равнинам, где широко развита оросительная сеть. Четвертичные отложения здесь чаще всего представлены толщей переслаивающихся гравия, галечника, песка и суглинков. Как показывает опыт постановки и проведения ОФН схему строения водораздельного потока можно представить схемами однородного пласта с покровом суглинков с одним или двумя разделяющими слоями.

Постановка и проведение ГДС в условиях водораздельного потока будет определяться в зависимости от конкретных задач, требуемых решения посредством, геоморфологических, геолого-гидрогеологических условий, глубины залегания подземных вод, наличия естественной и искусственной гидрографической сети. В этих условиях весьма важен предварительный анализ особенностей гидрогеологического разреза, соотношения коэффициентов водоносных и разделяющих слоёв, вертикальная гидрогеодинамика, взаимосвязь с поверхностными водами и глубокими гризонтами.

Применение ГДС возможно для изучения фильтрационной неоднородности и структуры потока, оценки геофильтрационных параметров вблизи искусственной гидрографической сети - ирригационной сети каналов, при изучении распространения загрязнений, изучении контaminationных процессов. И в зависимости от конкретных задач и условий её постановка и проведение может быть аналогичной постановке наблюдений у реки.

*Потоки предгорного типа* формируются в верхних частях конусов выноса, граничащих с предгорьями. Здесь, главным образом, за счет фильтрационных потерь из водотоков, формируются значительные естественные ресурсы (зона формирования). Вниз по потоку происходит фациальное замещение водопроницаемых прослоев галечников на суглинки. Средняя часть предгорного склона представляет собой зону выклинивания, где происходит частичная разгрузка подземного потока. Особую сложность представляет определение структуры потока в пределах территорий, отличающихся наибольшей глубиной залегания подземных вод и валунно-галечниковым строением разреза, что исключает

проведение буровых работ в объемах, достаточных для достоверного построения гидродинамической сетки. Такие условия характерны для верхних и средних частей потоков предгорного типа, где формируется значительная часть месторождений подземных водмежгорных бассейнов. В этих условиях целесообразен комплекс работ, включающий бурение ограниченного числа глубоких гидрогеологических скважин и геофизические исследования методом вертикального электроразведывания (ВЭЗ) с предварительным проведением специальных работ, ориентированных на оценку возможности применения ВЭЗ и выявления способов повышения точности получаемых результатов. Методика проведения ГДС в такой постановке была опробована в восточной части Чуйской

впадины, в пределах верховьев конуса выноса р. Чу[3].

#### **Литература:**

1. Шестаков В.М. Динамика подземных вод. - М.: МГУ, 1979 – 368 с.
2. Оролбаева Л.Э. Опытнo-фильтрaционные наблюдения в речных долинах межгорных впадин Тянь-Шаня Фрунзе, Илим, 1986, 180с.
3. Оролбаева Л.Э. Геогидрология горных стран (на примере Тянь-Шаня и Памиро-Алая). – Бишкек: «Текник», - 2013. – 185 с.
4. Шестаков В.М., Невечеря И.К., Авилина И.В. Методика оценки ресурсов подземных вод на участках береговых водозаборов. – М.: МГУ, 2009 – 192 с.