

УДК 532.517.2 .4

ЛАМИНАРНЫЙ И ТУРБУЛЕНТНЫЙ ПОТОКИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Зейберлих Н.Э.

Новосибирск, Россия

Подробная информация об авторах размещена на сайте

«Учёные России» - <http://www.famous-scientists.ru>

Рассмотрена изученность ламинарного и турбулентного потоков подземных вод, также результаты полевых исследований откачками скважин и лабораторный опыт откачки и установлено, что ламинарный поток с достижением критически больших скоростей уже фильтроваться в горных породах не может и переходит в турбулентный режим течения. Турбулентный поток не фильтруется, он лишь разрушает водовмещающие образования. В горных породах развит только ламинарный поток, турбулентный широко распространен на земной поверхности. Динамику подземных вод определяет фильтрация ламинарного потока. Верхняя граница ламинарного потока определяется переходом струйного потока в смешивающийся и соответствующим увеличением скоростей течения воды. Нижняя граница ламинарного потока не установлена. В зоне слияния инфильтрационных и элизионных подземных вод скорости снижаются до микроскоростных и направление их течения меняется в разные стороны.

Интересоваться физикой подземных вод стали преимущественно в послевоенные годы в связи с чем в "Справочнике гидрогеолога" [1] на странице 144 напечатан раздел "Ламинарная и турбулентная фильтрация" с краткой характеристикой указанных видов потоков, которая аналогична поверхностным водам. В данном справочнике оба вида потоков признаются фильтрующимися, разница лишь в их скоростях. Другими книгами, где рассмотрена физика подземных вод, является "Гидрогеодинамика" В.М. Шестакова, также И.К. Гавич, В.А. Всеволожского и др. Их несколько изданий одинаковых по содержанию.

Остановимся на одном из последних 1995 года [2].

В данном труде в разделе 1.1. рассмотрен "Линейный закон фильтрации (закон Дарси)". При этом вскользь можно уловить, что фильтруется ламинарный поток.

Далее в разделе "1.4. Нарушения закона Дарси" говорится что "Закон Дарси широко применяется и считается основным законом фильтрации", имеет

нижний и верхний пределы скоростей фильтрации, при достижении которых поток преобразуется. Верхний предел - критические скорости, в результате которых ламинарный поток уже не вписывается в закон линейной зависимости Дарси и переходит в турбулентный, смешивающийся. Очевидно авторы "Гидрогеодинамики" считают, что и ламинарный, и турбулентный потоки в порах и трещинах горных пород фильтруются одинаково и отличаются лишь скоростями меньшими в ламинарных, большими в турбулентных течениях.

В рассматриваемой теме наиболее трудным является вопрос о расчетах гидрогеологических параметров по откачкам воды из скважин. Как известно с откачкой воды ее уровень в скважинах понижается и вокруг них образуется депрессионная воронка. На краю депрессии скорости фильтрации вод минимальные соответствуют ламинарному потоку. Вблизи фильтров они максимальные видимо достигают критических величин, скважины обычно в

начале опыта пескуют, что означает некоторый размыв водоносной толщи.

В последнее время скважины для эксплуатации подземных вод и их исследований стали бурить с глинистой промывкой. При этом глинизируется весь их ствол, включая водоносный горизонт. Колонны фильтровых труб в этих условиях приходится ставить в глинистый раствор. Его требуется немедленно откачать, иначе он застынет, и оживить скважину не удастся. Однако и при своевременном удалении глинистого раствора производительность скважин остается пониженной. В связи с такими осложнениями примерно в семидесятых годах, для оживления скважин в Министерстве геологии и Охраны недр разработана специальная методика очистки фильтра. Она заключается в том, что ниже рабочей части фильтра в трубах устраивается промывочное отверстие. Во время откачки глинистого раствора и шлама через него откачивается также глинизированный песок водоносного горизонта. Откачка ведется до просветления воды и по достижении ее прекращается, на промывочное отверстие надвигается кольцо-заглушка, и оно им закрывается. Таким образом, производится очистка зафильтровой части. В итоге этой операции за фильтром скважины образуется какое-то пространство, свободное от грунта, фильтр очищается, и при откачке вода легко проникает в скважину.

В начале шестидесятых годов в экспедиции системы Запказнедра осуществлен опыт откачки воды из скважин без сетчатых фильтров одними перфорированными трубами (рис 1).

Скважины каптировали пески альбсеномана на глубине в пределах 100м. При откачке из скважин без фильтров вокруг них, как обычно, образовалась депрессия уровней. Из скважины в этих условиях шла вода с массой песка. Песок осаждался на землю, а вода, как поверхностная, стекала в балку. Полученный результат очевидно означает, что ламинарный поток на краю депрессии по мере приближения к скважине набирал скорость, где-то перед фильтром она достигала критических ве-

личин, теряла струйность и поток переходил в турбулентный вид течения.

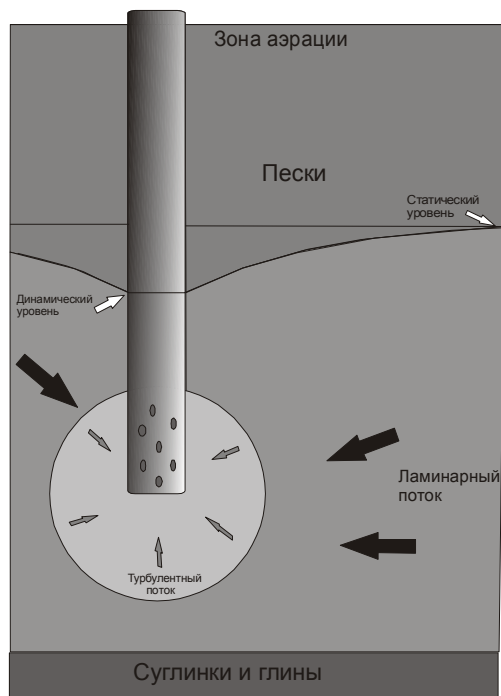


Рис. 1. Схема откачиваемой бесфильтровой скважины

Этот вид потока характеризуется инерционно-пульсационным, смешивающимся видом течения, которое рыхлит водоносную толщу и благоприятствует ее размыву. Откачкой водоносная порода размывалась, поэтому из скважин шла турбулентная вода с песком; фильтрации не наблюдалось. В скважинах с сетчатым фильтром, или проволоочной обмоткой и прочим эти устройства препятствуют размыву водоносных пород и снижают их производительность. В этих случаях за фильтром зона безгрунтового пространства не образуется. Наоборот, в условиях промывки фильтра от глинистого раствора, шлама и глинизированной части водоносного горизонта за фильтром образуется зона, освобожденная от грунта, заполненная водой. Лабораторный опыт откачки скважин без фильтров показал, что при этом вокруг торца труб образуется значительная каверна шарообразной формы. Каверна оказалась устойчивой, ее залили расплавленным парафином и определили габариты. Таким образом, изложенный опыт позволяет считать, что

во время откачки вокруг скважины возникают две зоны; одна обширная внешняя, с малыми скоростями фильтрации ламинарного потока, другая внутренняя малая, в безгрунтовом пространстве, с очень большими скоростями течения, турбулентного потока. Логарифмическая кривая материалов наблюдений восстановления уровня тоже состоит из двух участков, нижнего и верхнего. Нижний - фиксирует восстановление уровней турбулентного потока в безгрунтовом пространстве. Он отличается весьма быстрым восстановлением уровня и представлен кривой линией, верхний соответствует восстановлению уровней фильтрующегося к скважине с малыми скоростями, с медленным подъемом уровня ламинарного потока и представлен отрезком прямой линии. Вышеизложенное показывает, что как повсеместное пескование в начале откачки и особенно скважин без фильтров, так и лабораторный опыт откачки бесфильтровой скважины и образование при этом каверны, что турбулентный поток по своим особенностям не фильтруется, его пульсационно-инерционное смешивающееся течение размывает водовмещающие породы и он вырывается на земную поверхность. При строительстве плотин гидростроители учитывают разрушение водоносных грунтов турбулентными критическими скоростями и принимают меры против их возникновения, чем обеспечивают устойчивость сооружения. Как откачки скважин, так и фильтрация под плотинами - это в основном технические обстоятельства перехода фильтрующегося ламинарного струйного потока в турбулентный, в не фильтрующийся пульсационно-инерционный смешивающийся поток - верхняя граница применимости закона фильтрации Дарси. Но в природе широко развиты и естественные условия ее возникновения. К ним относятся родники, места выклинивания водоносных горизонтов в руслах рек и балок и на склонах возвышенностей. Скорости дренируемых подземных вод различные обычно много меньше "критических" переходных и

достаточно вытечь воде из узких пространств пор и трещин породы на земную поверхность, обрести широкий простор и следом ламинарный поток преобразуется в турбулентный, например речной. Наоборот фильтрация в недра поверхностных вод, дождевых, снеготалых потоков вызывает переход ее в ламинарный режим течения. Такова верхняя граница струйного ламинарного потока, граница перехода подземных вод в турбулентные, поверхностные.

На глубине земных недр, в которых развиты высокие пластовые давления, а пространства пор и трещин весьма малые, турбулентное смешивающее и размывающее течение ввиду плотности пород не возникает и полностью доминирует ламинарный поток. Турбулентные потоки вод известны лишь в пещерах, расположенных гипсометрически выше уровня моря, где они обычно не отличаются от поверхностных рек [3, рис. 5, 21]. Ниже уровня моря, где пещеры полностью заполнены подземной водой и она обладает напором, на дне морей возникают струи восходящих источников морян. Их струи поднимаются со дна, достигают морской поверхности, и под ней рассеиваются. В тихую погоду можно видеть легкие волны на глади моря, расходящиеся кругами от мест выхода подземных вод. Струи присущи ламинарным потокам. Очевидно, в затопленных пещерах с малыми скоростями течения вод существуют условия для формирования, как и в трубах, не только турбулентных смешивающихся, но и ламинарных струйных потоков. Таким образом, в пещерах в зависимости от скоростей могут возникать оба вида движений воды.

Вышеизложенные факты пескования скважин во время откачек, массовый вынос песка в бесфильтровых скважинах и образование значительной каверны во время откачки в лабораторных условиях указывают, что с достижением критических скоростей ламинарный поток уже фильтроваться не может и переходит в турбулентный, разрушающий водоносные

породы, он создает себе пескованием условия открытого потока, как в реке.

Турбулентный и ламинарный потоки имеют следующие свои характеристики:

Турбулентный	Ламинарный
Скорости большие	Скорости малые
Течения смешивающиеся	Течения струйные
Не фильтруется	Фильтруется
Развит на поверхности Земли	Развит в пористой среде земных недр

Переход ламинарного потока в турбулентный и в обратном направлении происходит при различных гидрогеологических условиях и соответствующих им разных скоростях, однозначной критической скорости в природе не существует.

Об аномалиях при минимальных скоростях фильтрации ламинарного потока. В. М. Шестаков написал [3]; "Гораздо больший принципиальный и практический интерес представляет анализ аномалий основного закона фильтрации, возникающего при малых скоростях фильтрации, характерных для слабопроницаемых пород. Природу этих аномалий связывают с влиянием сил молекулярного взаимодействия частиц воды и породы, причем их объяснение основывается на представлениях о вязко-пластическом характере воды в ультратонких поровых каналах".

Нижняя граница ламинарного потока ни геофизически ни геологически не определена, где находится не установлено, вероятно расположена на больших глубинах, где возможно развиты микроскорости ламинарных потоков и они переходят под действием термобарических условий недр в пластический вид вещества или в паро-газоносное состояние.

Слияние инфильтрационных подземных вод с малыми скоростями течения и элизионных рассолов с

микроскоростями сопровождается изменением направления течения; элизионный поток течет в обратном направлении по отношению к инфильтрационному. В зоне сочленения инфильтрационные и элизионные воды разделены слоями с промежуточными скоростями течения и их направлений.

Изложенный материал позволяет считать, что динамику инфильтрационных подземных вод представляет ламинарный поток. Его течение математически определяется линейным законом фильтрации (закон Дарси). Определенных граничных скоростей перехода ламинарного потока в турбулентный не обнаружено.

Дальнейшие исследования физики подземных вод могут выявить дополнительные материалы по данной теме, она пока слабо изучена.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Справочник гидрогеолога. Ред. М.Е. Альтовский. Госгеолтехиздат. М., 1962. 616 с.
2. Шестаков В.М. Гидрогеодинамика. Изд. МГУ. 1995. 368 с.
3. Шестаков В.М., Орлов М.С. / редакторы / Гидрогеология. Изд. МГУ. 1984. 315 с.
4. Зейберлих Н.Э. Элизионные и инфильтрационные подземные воды Северного Прикаспия. Водные ресурсы, том 31, Н 1. 2004, с.21-30.

LAMINAR AND TURBULENCE FLOWS OF SUBSURFACE WATERS

Zeyberlikh N.E.

Novosibirsk, Russia

The results of study of laminar and turbulent water streams are discussed in the paper. The results of field pumping out investigation and the laboratory experience of pumping out are under discussion too. It was determined that when a laminar stream reaches great velocity it could not be filtered by mountain rocks any more and therefore is transformed into turbulent stream which is close approximation to surface water stream. As soon as turbulent stream is not filtered it destroys water absorbing rocks. There is only laminar stream in rocks mass so that the dynamic of underwater and suffusion are determined by filtration of laminar water.