УДК 556.332.4.042+551.509.313.3

ЭКСПРЕСС-ОТКАЧКИ КАК СПОСОБ ВЫЯВЛЕНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОБВОДНЕННОЙ ТОЛЩИ С ВНЕШНЕЙ СРЕДОЙ

Д.Л.УСТЮГОВ, *канд. геол.-минерал. наук, доцент, ustiugov@mail.ru*
Д.П.МИРОНЧУК, *аспирант, dpmironchuk@gmail.com*
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург, Россия

Для районов с высокой степенью освоенности ресурсов подземных вод, множеством мелких и средних водозаборов с переменным дебитом удобным методом подсчета запасов является численное моделирование. Применение численного моделирования требует наличия достоверных сведений о фильтрационных параметрах целевого водоносного горизонта, а также о его граничных условиях, т.е. о характере связи с внешней средой. Методы определения фильтрационных параметров хорошо разработаны, включая графоаналитический метод, обязательный для применения, однако установление граничных условий связано с определенными сложностями. В работе показано, что достоверные сведения о характере взаимодействия водоносных горизонтов с вмещающей средой в определенных условиях могут быть получены при интерпретации экспресс-откачек.

Ключевые слова: гидрогеология, подсчет запасов, численное моделирование, граничные условия, откачка воды, графоаналитический метод.

В течение последних 20 лет характер разработки запасов подземных вод в некоторых районах Ленинградской области значительно изменился. До конца 80-х годов XX в. весь водоотбор был сосредоточен на ряде крупных водозаборов, к настоящему же времени многие из этих водозаборов были выведены из эксплуатации (что привело к снятию с государственного учета запасов на нескольких участках Рощинского месторождения). Их место было занято большим количеством мелких водозаборов (преимущественно для индивидуального водоснабжения), рассредоточенных по территории. Кроме того, был практически свернут отбор вод вендского водоносного комплекса на территории Санкт-Петербурга, где они ранее использовались для систем охлаждения на промышленных предприятиях. Данные процессы привели к перераспределению напоров вендского водоносного комплекса, формированию уклона пьезометрической поверхности на север и постепенной миграции депрессионной воронки также в северном направлении. В сложившихся обстоятельствах применение традиционных методов подсчета запасов (гидродинамического в сочетании с гидравлическим) резко затрудняется, поскольку требуется учет взаимодействия всех вновь введенных в строй водозаборов, а также изменения в распределении напоров.

В таких условиях оптимальным решением представляется создание постоянно-действующей модели вендского водоносного комплекса при условии ее регулярной актуализации с использованием данных Территориальной службы мониторинга о водоотборе на всех эксплуатируемых водозаборах. Данная модель должна иметь региональный масштаб и включать центральный и южный районы Карельского перешейка – область распространения вендского водоносного комплекса, где изменились водоотборы. Предполагается, что в 2016 г. создание данной модели будет включено в перечень объектов, финансируемых за счет средств федерального бюджета.

Необходимым условием создания геофильтрационных моделей является получение достоверных сведений о распределении фильтрационных параметров в пределах области фильтрации, а также условий ее взаимодействия с внешней средой, т.е. определение типа граничных условий*. Выполнение данного условия в рамках вышеупомянутого

* *Yang X.-Sh.* Mathematical modelling for Earth sciences. Edinburgh: Dunedin Academic Press Ltd, 2008, p.310.

объекта реализуется посредством изучения архивных материалов и проведения ряда опытно-фильтрационных работ на скважинах, расположенных в зонах выклинивания вендского водоносного комплекса.

Опытно-фильтрационные работы на водозаборе, приближенном к зоне выклинивания вендского водоносного комплекса, проводились ОАО «ПКГЭ» в 2011 г. в рамках поисково-оценочных работ для водоснабжения дачного некоммерческого партнерства (ДНП) «Старорусское». Данный водозабор по сведениям, полученным в ходе геологического доизучения площади листов P-35-XXIX, XXX, XXXIII-XXXVI, P-36-XXV, XXXI, приурочен к линзе вендских образований мощностью до 50 м и размерами в плане 8 × 1,2 км, простирающейся параллельно длинной оси оз. Красавица с востока от него. Линза была закартирована и заверена наземными геофизическими работами, а также бурением, выполненными М.Н.Афанасовым в 2002 г.

Вендские песчаники на границе линзы латерально сменяются относительно водоупорными московскими и осташковскими отложениями, преимущественно сложенными валунными суглинками с прослоями песков и супесей.

Водозабор ДНП «Старорусское» состоит из одиночной скважины № 1743/07 (регистрационный номер 1251 (P-35-Г)), пробуренной в 2006 г. ООО «Балтийская буровая компания». Скважина пробурена на глубину 71 м и вскрывает вендский водоносный комплекс на глубине 40 м.

В интервале +0,2-7,0 м в скважину опущена обсадная колонна диаметром 274 мм, а в интервале +0,5-40,0 м – диаметром 168 мм. В целях изоляции водоносного горизонта обе колонны зацементированы на всю длину.

Фильтровая колонна диаметром 127 мм установлена в интервале 37,5-71,0 м. Рабочие части фильтра перфорированные, приурочены к интервалам залегания наиболее водообильных песчаных прослоев, выделенных посредством резистивиметрии, а именно: 49,2-52,4; 56,9-59,8 и 64,3-67,3 м. Сальник (на глубине 40,0 м) представляет собой цилиндр древесины высотой 30 см с внутренним диаметром 127,0 мм и наружным 153 мм. Перемещения сальника ограничены приваренными к трубе металлическими кольцами с резиновыми уплотнителями.

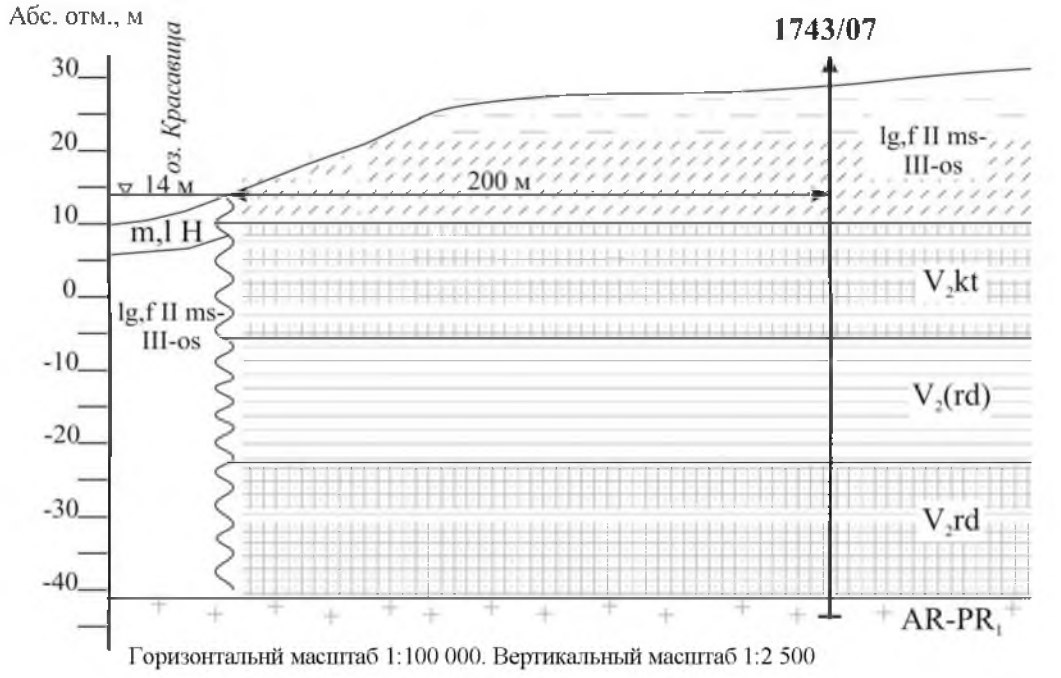


Рис.1. Схематический гидрогеологический разрез

Водоподъемное оборудование представлено насосом ЭЦВ-6, опущенным на глубину 37,0 м и достаточным для обеспечения потребного дебита.

Латеральная смена вендских образований четвертичными отложениями проиллюстрирована разрезом вкрест простирания линзы (рис.1).

Опытно-фильтрационные работы на водозаборе ДНП «Старорусское» включали откачку с дебитом 96 м^3/сут (что дает превышение потребного дебита практически в полтора раза), продолжительность которой составляла 10 ч. Невысокая продолжительность откачки, с одной стороны, объяснялась быстрым достижением квазистационарного режима, а с другой – необходимостью отключения потребителей от водоснабжения на время откачки, поскольку последняя проводилась на выброс. Радиус влияния откачки такой продолжительности

$$R = 1{,}5\sqrt{at} = 1{,}5\sqrt{10^5 \cdot 0{,}417} = 306 \text{ м},$$

где a – коэффициент пьезопроводности, м^2/сут; t – время откачки, сут.

Рассчитанный радиус влияния откачки превышает расстояние от водозабора до латерального контакта вендских песчаников с моренными суглинками, и потому следовало ожидать, что влияние данной границы скажется на ходе откачки. График временного прослеживания (в полулогарифмических координатах) приведен на рис.2.

Как видно из графика, резкое выполаживание индикаторной кривой началось не более чем через 15 мин после включения насоса, а в период от 6 до 10 ч после включения насоса динамический уровень претерпел лишь несущественные колебания. Расчет по вышеприведенной формуле показывает, что зона влияния откачки должна была достигнуть границы линзы чуть более чем за 4 ч, и таким образом устойчивый квазистационарный режим во второй половине откачки позволяет сделать вывод о том, что рассматриваемая граница характеризуется постоянным напором, т.е. является границей I рода.

Таким образом, запасы подземных вод, эксплуатируемые водозабором ДНП «Старорусское», в определенной степени обеспечиваются привлекаемыми ресурсами, что говорит о поступлении вод оз.Красавица в образования венда. Косвенным подтверждением данной концепции является тот факт, что радиологический анализ пробы воды, отобранной в конце откачки, не показал характерных для Карельского перешейка превышений ПДУ альфа-активности и Rn-222. Более того, в отобранных пробах воды не было обнаружено превышений ни по одному показателю, определяемому при полном химическом и микробиологическом анализах, чем косвенно подтверждается факт длительной фильтрации поступающих к водозабору вод оз.Красавица через толщу четвертичных песков и супесей. Теснота гидравлической связи образований венда с четвертичными отложениями, подстилающими дно озера, подтверждается и длительным рядом химических и радиологических анализов. Так, при мониторинге качества вод с 2006 по 2013 г. с периодичностью не реже одного раза в два года не было обнаружено ни одного превышения нормативных значений контролируемых показателей. Также не было обнаружено убедительной динамики изменения каких-либо показателей на протяжении всего рассматриваемого семилетнего срока.

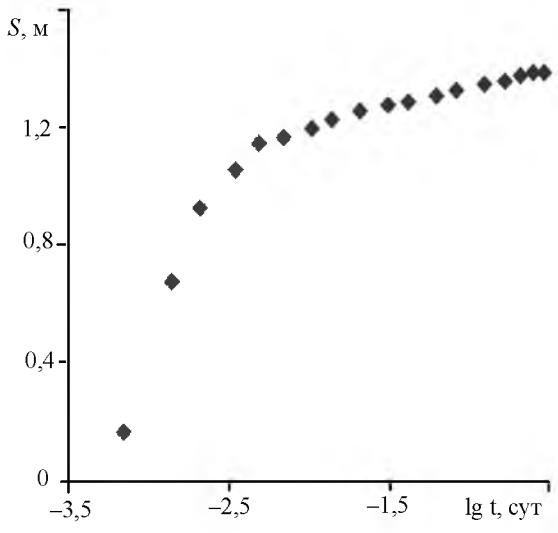


Рис.2. График временного прослеживания

Данная граница с постоянным напором, однако, не учитывалась при подсчете запасов, что было сделано для ужесточения расчетной схемы. В ходе камеральной обработки полевых материалов с применением формулы из методических рекомендаций ГИДЭК* был проведен расчет радиуса области формирования запасов:

$$R_{ф} = \sqrt{\frac{Q}{\pi M_{пр}}} = \sqrt{\frac{69{,}2}{\pi \cdot 0{,}73}} = 0{,}59 \text{ км},$$

где Q – проектируемый дебит одиночного водозабора, равный 69,2 м^3/сут или 0,8 л/с; $M_{пр}$ – модуль прогнозных ресурсов подземных вод; по данным работ Е.А.Шебесты, завершенных в 2007 г., в рассматриваемом районе $M_{пр}$ = 0,73 л/(с·км^2).

Область формирования запасов, таким образом, выходила за пределы линзы вендских образований только с одной стороны, а именно с запада. Однако влиянием данной границы по указанной выше причине было решено пренебречь, и вендский водоносный комплекс был схематизирован как неограниченный в плане и изолированный в разрезе напорный пласт.

Подсчет запасов проводился гидродинамическим методом (схема Тейса – Джейкоба), и расчетное понижение на конец 27-летнего срока эксплуатации должно было составлять 1,62 м при допустимом понижении 32,6 м.

В июле 2013 г. (через 2 года после завершения описанных выше опытно-фильтрационных работ) было проведено обследование водозабора ДНП «Старорусское», в ходе которого среди прочего было определен динамический уровень. Расчетное понижение на двухлетний срок по формуле Тейса – Джейкоба должно было составить 1,46 м, однако фактически оно не превысило 1 м. При этом следует отметить, что при схематизации вендского водоносного комплекса как полуограниченного пласта с границей I рода и при применении метода зеркальных отражений (введение в расчетную схему фиктивной скважины с отрицательным дебитом) расчетное понижение через 2 года должно было составить 1,06 м.

Водоотбор на водозаборе ДНП «Старорусское» в течение данного двухлетнего периода оказался исключительно постоянным, так, по данным журналов водоотбора, он изменялся в пределах 56-68 м^3/сут, причем его сезонность практически не была выражена. Кроме того, как опытно-фильтрационые работы, так и обследование скважины проводились в летнюю межень, что позволяет исключить влияние сезонных колебаний уровня на полученные результаты. На этом основании может быть сделан вывод об избыточности ужесточения расчетной схемы, вызванной отказом от учета влияния границы с постоянным напором, что также подтверждает ранее изложенные выводы, сделанные на основании интерпретации откачки 2011 г.

Можно заключить, что определение характера взаимодействия обводненной толщи с внешней средой в определенных условиях возможно по данным интерпретации даже весьма краткосрочных (продолжительностью до одних суток) откачек: в случае проведения опытно-фильтрационных работ на скважинах, близко прилегающих к изучаемым границам области фильтрации. При этом дополнительным источником информации может являться контроль радиологических показателей откачиваемых вод с учетом их возможного изменения в ходе опытно-фильтрационных работ (путем проведения радиологического анализа проб, отобранных в начале и конце откачки), а также, по возможности, изучение ретроспективных химических и радиологических анализов. Следует отметить, что для уточнения возможности достоверного разделения границ I и II рода по данным краткосрочных откачек необходима калибровка метода путем изучения характера кривых временного прослеживания при откачках из скважин, расположенных в различных областях фильтрации, в том числе вблизи от заведомо непроницаемых контуров.

---

* *Боревский Б.В.* Оценка эксплуатационных запасов питьевых и технических подземных вод по участкам недр, эксплуатируемым одиночными водозаборами: Метод. рекомендации / Б.В.Боревский, Л.С.Язвин, В.П.Закутин. М.: ГИДЭК, 2002. 61 с.

Borevskii B.V., Yazvin L.S., Zakutin V.P. Otsenka ekspluatatsionnykh zapasov pit'evykh i tekhnicheskikh podzemnykh vod po uchastkam nedr, ekspluatiruemym odinochnymi vodozaborami (*Estimation of operational resources of underground water from single intakes subsoil plots*). Moscow: GIDEK, 2002, p.61.

SHORT-TERM PUMPING TESTS AS AN IDENTIFICATION METHOD OF AQUIFER-SURFACE INTERACTION

D.L.USTYUGOV, *PhD in Geological and Mineral Sciences, Associate Professor, ustiugov@mail.ru*
D.P.MIRONCHUK, *Postgraduate student, dpmironchuk@gmail.com*
National Mineral Resources University (Mining University), St Petersburg, Russia

Computational modeling is a convenient method of estimating underground water resources for regions with highly developed underground water resources, with a large number of variable production water supply systems. The use of computational modelling requires reliable information about a target aquifer's filtering parameters, as well as its boundary conditions, or features of its interaction with the surface. Methods of determination of filtering parameters, including nodal analysis, which is obligatory, are well-developed, but determination of boundary conditions has some difficulties. The paper shows that reliable information about features of aquifer-surface interaction can be obtained by interpreting pumping tests.

Key words: hydrogeology, estimation of resources, computational modeling, boundary conditions, pumping test, nodal analysis.