

К МЕТОДИКЕ ПРОГНОЗА СКОРОСТИ ЗАТОПЛЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

В конце XX века на территории Свердловской области, как и в других горнодобывающих регионах, и в первую очередь в угольных бассейнах, происходит процесс закрытия отработанных и нерентабельных шахт. При закрытии шахт прекращается работа водоотливных устройств, что приводит к затоплению подземных горных выработок. При отработке всех балансовых запасов процесс называется “мокрой” ликвидацией (МЛ), во втором случае, когда отработка месторождения является нерентабельной, - “мокрой” консервацией (МК).

Известно, что затопление подземных горных выработок приводит к целому ряду негативных гидрогеологических, инженерно-геологических и экологических последствий: ухудшению химического состава шахтных вод, загрязнению природных (грунтовых и поверхностных) вод, почв, подтоплению и заболачиванию земель при изливе шахтных вод на поверхность, ухудшению несущих способностей грунтов вследствие изменения их физических свойств и т. п. Вытеснение загрязненного шахтного воздуха при затоплении выработанного пространства создает угрозу накопления газовых смесей (метана, углекислого газа и др.) в подвальных помещениях, зданиях и сооружениях, в почвах, непосредственно в местах выделения из выработок до рассеивания в атмосферном воздухе.

В основе развития большинства негативных процессов лежит гидродинамический фактор, то есть скорость подъема уровня воды и положение его предельных отметок. В условиях горноскладчатого Урала скорость восстановления уровня подземных вод при прекращении шахтного водоотлива, а также конфигурация и предельное положение восстановленного уровня, вследствие нарушения сплошности массива горных пород и его фильтрационного сопротивления, а следовательно и его дренированности, прогнозируются гидродинамическими (численными) методами крайне приближенно. Исследования, выполняемые в этом направлении ведущими специалистами страны [2, 3], требуют весьма значительных затрат времени и средств.

С другой стороны, весьма продуктивно использование для гидродинамических прогнозов фактических данных по темпу восстановления уровня, зарегистрированных в реальных геотехногенных условиях. Авторы располагают фактическими данными по темпам “захлапывания” депрессионных воронок при МК Дегтярского медного рудника и МЛ Валуевской железорудной шахты, которые, при определенной их интерпретации, могут быть использованы в качестве аналогов.

Оба объекта расположены на восточном склоне Среднего Урала в пределах Свердловской области. В гидрогеологическом отношении оба участка принадлежат Большеуральскому сложному бассейну корово-блоковых безнапорных и напорных вод. На участках месторождений имеет развитие водоносный комплекс зон трещиноватости вулканогенно-осадочных, интрузивных и метаморфических пород палеозоя.

Дегтярское медноколчеданное месторождение, открытое в 1888 г., расположено в г. Дегтярске практически в пределах городской застройки, занимая её центральную часть (рис. 1). В орографическом отношении территория города Дегтярска приурочена к межгорной депрессии, трассированной заболоченными долинами реки Исток и её левобережного притока - речки Дегтярки (бассейн р. Чусовой). Дегтярское медноколчеданное месторождение расположено в пониженной части этой депрессии. Абсолютные отметки поверхности земли Дегтярского рудника колеблются от 333 до 335 м при абсолютных отметках уреза воды в речке Дегтярке 331,8 м.

Данные о положении естественного уровня подземных вод в пределах шахтного поля не сохранились. Региональный модуль прогнозных эксплуатационных ресурсов подземных вод составляет $1,5 \text{ дм}^3/\text{с} \cdot \text{км}^2$.

Месторождение обрабатывалось подземным способом в период с 1914 по 1995 года. До 1952 года горные работы на месторождении проводились в верхних горизонтах 70-190 м и развивались в основном по площади. С 1952 года интенсификация горных работ происходила на глубину с максимальной глубиной отработки по шахте “Капитальная-2” 610 м. К 1994 г., перед закрытием рудника, восемь шахтных стволов было обрушено и находилось в зоне сдвижения горных пород, один ствол засыпан, четыре ствола сохранились (шахты “Капитальная-1”, “Капитальная-2”, “Средняя” и “Южная”). В северной части месторождения расположен отработанный карьер шх. “Колчеданной”. Рудничный водоотлив производился с гор. 610 шх. “Капитальная-2”, при среднемноголетнем значении за период 1983-1993 г. $220 \text{ м}^3/\text{ч}$.

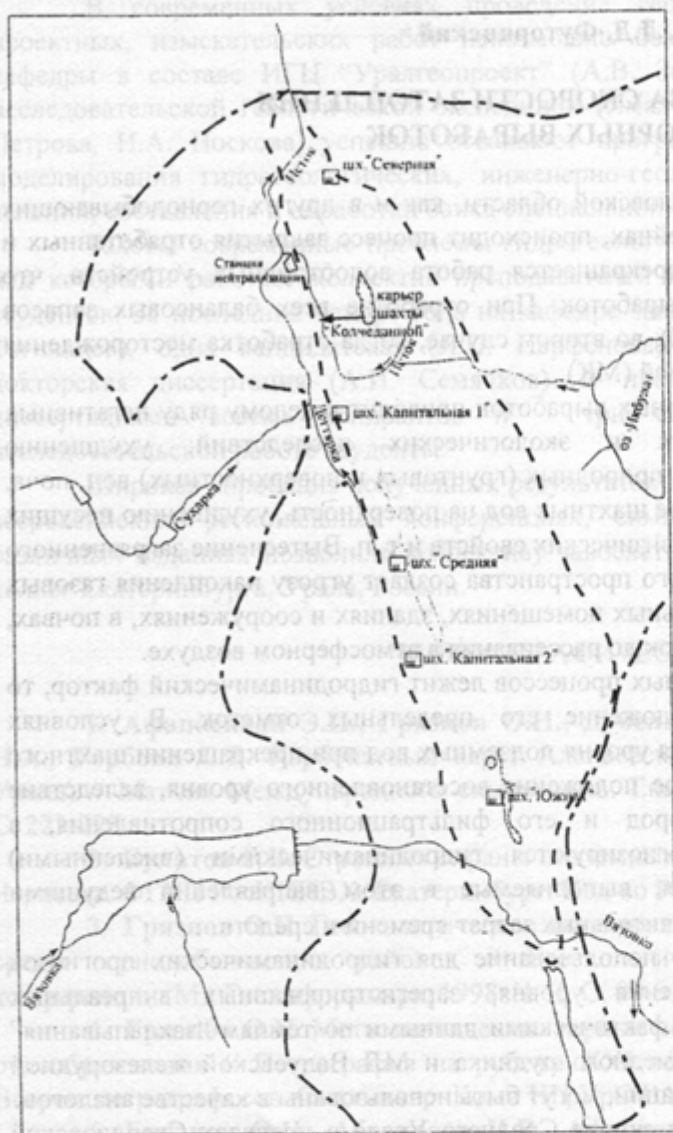


Рис. 1. Ситуационный план Дегтярского рудника:

1 – выход подземных вод из затопленных горных выработок; 2 – депрессионная воронка; 3 – зона обрушения; 4 – карьер; 5 – шахты; 6 – область питания шахтного водоотлива

Многолетний водоотлив на Дегтярском руднике к моменту его ликвидации сформировал устойчивую воронку депрессии длиной 6 км и шириной в центральной части 1,3 км. Площадь воронки депрессии составляла 5,04 км². Воронка имела субмеридиональное простирание и очень крутой западный борт, практически не выходящий на левый берег речки Дегтярки.

Полная остановка водоотлива произошла 21.12.1995 г., а полное заполнение депрессионной воронки - 17.05.1999 г., то есть через 1388 суток после остановки водоотлива (см. таблицу, рис. 2). Уклон подземного потока от затопленных шахт направлен на север к карьеру шх. "Колчеданная" а из него – к р. Исток. В октябре 1998 г. произошел выход шахтных вод в карьер. При достижении воды до отметки поверхности земли произошел её перелив в русло р. Исток.

Скорость заполнения депрессионной воронки изменялась от 1,82 м/сут в начале остановки водоотлива до 0,02-0,13 м/сут – на завершающем этапе МЛ (рис. 3). В период весеннего наводка темпы затопления горных выработок возрастали, что выражается в пикообразной форме графика и 2-линейного фильтра, построенного из-за недостаточности эмпирических данных.

Валуевское месторождение железных руд находится на расстоянии 5 км к югу от г. Кушва (рис. 4). Рельеф района гористо-увалистый с максимальными абсолютными отметками в пределах 260-290 м. Месторождение расположено на водоразделе р. Кушвы и Лаи. Причем, карьер и шахтные выработки находятся в верховьях р. Кушвы, берущей свое начало непосредственно от юго-западного окончания карьера. Абсолютная отметка уреза воды в верховьях р. Кушвы 265 м. Сброс шахтных вод в совокупности с очищенными хозяйственными сточными водами производился в болото Лайское (верховья р. Лаи), с абсолютной отметкой уреза воды 272 м.

Расчёт скорости восстановления уровня подземных вод при МЛ

Дата замера	Время от начала остановки водоотлива, сут	Абсолютная отметка УПВ, м	Время, сут	Подъём уровня, м	Скорость подъёма, м/сут
Дегтярский рудник					
19.07.95	0	-250,5			
21.08.95	33	-190,5	33	60	1,82
19.10.95	92	-130,5	59	60	1,02
05.01.96	170	-70,5	78	60	0,77
10.07.96	356	-49,5	186	21	0,11
25.04.97	624	154,5	268	204	0,76
23.06.97	683	175,5	59	21	0,36
25.08.97	735	206,5	52	31	0,60
05.11.97	806	237,5	71	31	0,44
30.01.98	889	268,5	83	31	0,37
30.04.98	979	296,5	90	28	0,31
05.06.98	1015	305,5	36	9	0,25
20.07.98	1060	315,5	45	10	0,22
06.10.98	1138	328,0	78	12,5	0,16
06.11.98	1169	331,5	31	3,5	0,11
11.01.99	1265	336,5	96	5	0,05
08.02.99	1293	338	28	1,5	0,05
29.03.99	1342	339,1	49	1,1	0,02
14.05.99	1388	345	46	5,9	0,13
Шахта "Валуевская"					
11.11.98	0	-100			
09.02.99	83	-45,5	83	54,5	0,66
16.03.00	490	56,3	407	101,8	0,25
05.06.00	571	89,8	81	33,5	0,41
03.08.00	630	97,9	59	8,1	0,14
06.10.00	694	110,1	64	12,2	0,19
01.01.01	808	125	114	14,9	0,13

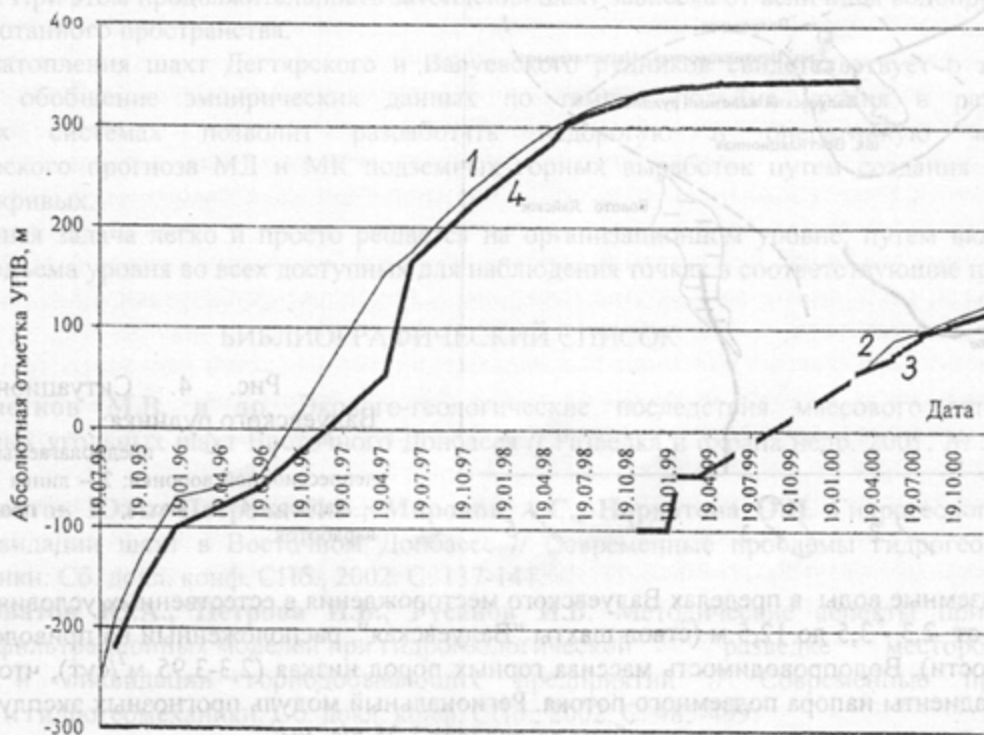


Рис. 2. Восстановление уровня подземных вод при МК Дегтярского и МЛ Валуевского рудников: 1 – Дегтярский рудник; 2 – 2-линейный фильтр (Дегтярский рудник); 3 – шх. "Валуевская"; 4 – 2-линейный фильтр (шх. "Валуевская")

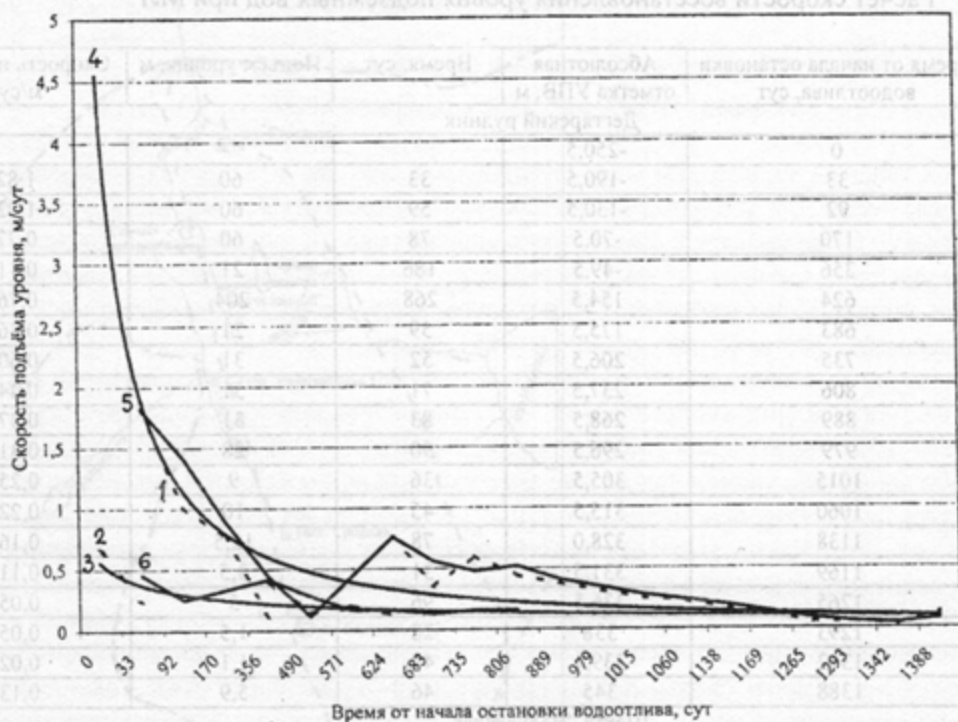


Рис. 3. Скорость подъема уровня подземных вод при МК Дегтярского и МЛ Валуевского рудников:

1 – Дегтярский рудник; 2 – шх. “Валуевская”; 3 – Степенной (шх. “Валуевская”); 4 – Степенной (Дегтярский рудник); 5 – 2-линейный фильтр (Дегтярский рудник); 6 – 2-линейный фильтр (шх. “Валуевская”)

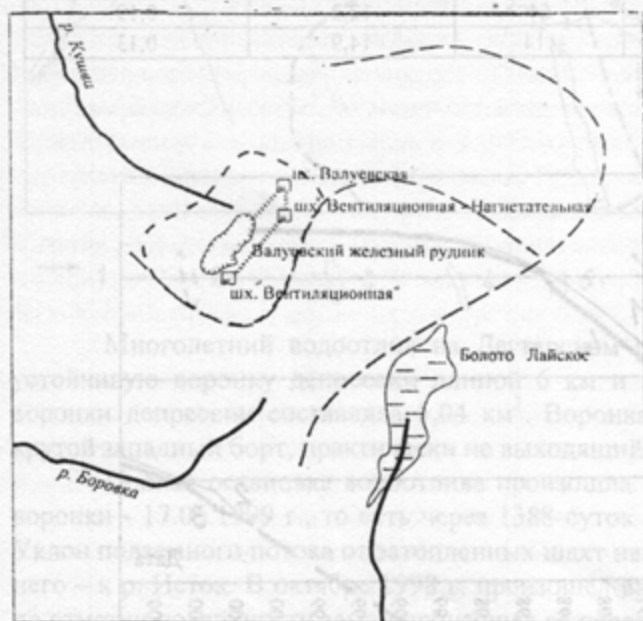


Рис. 4. Ситуационный план Валуевского рудника:

1 – предполагаемые границы депрессионной воронки; 2 – линия водораздела; 3 – карьер; 4 – шахта; 5 – проекция горных вароботов

Подземные воды в пределах Валуевского месторождения в естественных условиях находятся на глубине от 2,3 - 3,5 до 12,5 м (ствол шахты “Валуевская”, расположенный на приводораздельной возвышенности). Водопроницаемость массива горных пород низкая ($2,3-3,95 \text{ м}^2/\text{сут}$), что определяет высокие градиенты напора подземного потока. Региональный модуль прогнозных эксплуатационных ресурсов подземного стока для этого района составляет $1,25 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$.

Месторождение обрабатывалось с 1953 г. Первоначально добыча руды велась открытым способом – карьером “Валуевским”, глубина которого около 70 м (абсолютная отметка дна карьера составляет около 200 м). Начиная с 1968 г. вскрытие и отработка запасов руды велись подземным способом – шахтой “Валуевская” Гороблагодатского рудоуправления. Кроме ствола шахты

“Валуевская” были пройдены шахты “Вентиляционная” и “Вентиляционная-Нагнетательная”. Максимальная глубина отработки составила около 370 м (гор. –100 м) при проходке горизонтальных горных выработок на отметках +135 м (шахта “Вентиляционная”), +100 м, +40 м, ± 0 м, - 25 м, -65 м и –100 м. Площадь шахтного поля составляет около 0,5 км².

Среднегодовые водопритоки к шахте “Валуевская” изменялись от 60 (1982 г.) до 95 м³/ч (1990 г.) при среднемноголетнем значении водоотлива 79,5 м³/ч. Максимальные водопритоки, зафиксированные в паводковый период, составили 140 – 160 м³/ч. Предполагаемая форма депрессионной воронки, существовавшая на конец отработки Валуевского железорудного месторождения, показана на рис. 4. Её площадь равна около 2 км².

Затопление горных выработок шахты “Валуевская” производится с 11 ноября 1998 г. Известные авторам наблюдения охватывают период продолжительностью 808 сут. (см. таблицу, рис. 2). По имеющимся данным, полного заполнения депрессионной воронки не произошло. Прогнозируется выход шахтных вод в ёмкость карьера. Средняя скорость затопления подземных горных выработок в целом за весь наблюдаемый период составляет 0,29 м/сут. При этом скорость уменьшилась от 0,65 м/сут на начальном этапе консервации (1998 - 1999 г.) до 0,13-0,25 м/сут в 2000 г. (см. таблицу). В периоды зимней межени скорость затопления снижалась, возрастая в паводок (см. рис. 3).

Как следует из вышеизложенного, геотехногенные системы, сформированные на Дегтярском и Валуевском рудниках, имеют как общие черты, так и отличия, заключающиеся в различных объёмах выработанного пространства и степени водообильности нарушенного массива пород. Меньшая скорость подъема уровня на начальном этапе МЛ Валуевского рудника отражает худшие условия восполнения ресурсов подземных вод, выражающиеся через более низкий модуль прогнозных эксплуатационных ресурсов.

Степенные линии трендов, построенные по обоим участкам, максимально отличаются в исходный период и существенно сближаются на верхних отметках затопления (см. рис. 3). На последнем этапе восстановления уровня скорости подъема уровня выравниваются и составляют 0,13 м/сут (см. таблицу). Практически такие же скорости были зафиксированы при закрытии угольных шахт в Донбассе в военные годы [1]. Средняя скорость затопления изменялась от нескольких сантиметров до 1,8 м/сут, а общее время затопления шахт до статического уровня составляло от 170 до 1890 сут. На верхних горизонтах шахт скорость снижалась и подъём уровня происходил по параболическому закону. В Кузбассе продолжительность затопления разных шахт составляет от 365 до 1460 сут [1]. При этом продолжительность затопления шахт зависела от величины водопритоков и объёмов выработанного пространства.

Опыт затопления шахт Дегтярского и Валуевского рудников свидетельствует о том, что накопление и обобщение эмпирических данных по темпам подъема уровня в различных геотехногенных системах позволит разработать недорогую и оперативную методику гидродинамического прогноза МЛ и МК подземных горных выработок путем создания альбома эмпирических кривых.

Указанная задача легко и просто решается на организационном уровне, путем включения регистрации подъема уровня во всех доступных для наблюдения точках в соответствующие проекты.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кочетков М.В. и др. Эколого-геологические последствия массового затопления ликвидированных угольных шахт Восточного Донбасса // Разведка и охрана недр. 2001. № 5. С. 33-38.
2. Норватов Ю.А., Петрова И.Б., Миронов А.С., Норватова О.И. Гидрогеологические проблемы ликвидации шахт в Восточном Донбассе // Современные проблемы гидрогеологии и гидрогеомеханики: Сб. докл. конф. СПб., 2002. С. 137-141.
3. Норватов Ю.А., Петрова И.Б., Русанов И.В. Методические аспекты применения численных геофильтрационных моделей при гидрогеологической разведке месторождений, эксплуатации и ликвидации горнодобывающих предприятий // Современные проблемы гидрогеологии и гидрогеомеханики: Сб. докл. конф. СПб., 2002. С. 485-499.