

# ЭКОЛОГИЯ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

---

УДК 551.44

## ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ В КИЗЕЛОВСКОМ БАССЕЙНЕ ПОСЛЕ ЛИКВИДАЦИИ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

Н. В. НЕВОЛИН, П. А. ЛЫХИН, В. А. ГОРШКОВ, Г. Т. ГРИЩЕНКО

ОАО МНИИЭКТОЭК, г. Пермь,

Горный институт УрО РАН,

Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН,

Уральский государственный горный университет

*При разработке угольных пластов водопродводящие трещины распространились до надугольного водоносного комплекса. При устойчивой гидравлической связи между подземными и шахтными водами возможны как самоизлив шахтных вод, так и фильтрация их в горизонт подземных вод. В результате закрытия и затопления шахт существенно снизилось негативное воздействие изливающихся шахтных вод на природную среду, но возникла серьезная угроза загрязнения подземных вод шахтными водами.*

*Ключевые слова: экология, шахтные воды, гидравлическая связь, затопление шахт, загрязнение.*

*In mining of coal seams aqueduct fractures extend till over-coal water-bearing complex. With a stable hydraulic connection between underground and mine waters both self-pouring out of mine waters and their filtration into the horizon of underground waters is possible. As a result of closure and flooding of mines negative influence of mine waters pouring out onto the environment greatly decreased, but serious threat of underground waters contamination by mine waters appeared.*

*Key words: ecology, mine waters, hydraulic connection, flooding of mine, contamination.*

Геологическое строение Кизеловского бассейна — согласно залегающий комплекс палеозойских осадочных пород от нижнепермского до нижнедевонского возраста, перекрытый отложениями глин и суглинков. В визейском ярусе нижнего отдела каменноугольной системы (карбона) в связи со своеобразием литологического состава выделена самостоятельный горизонт угленосной толща  $C_{1h}$ , состоящая из чередования кварцевых песчаников, алевролитов, аргиллитов и небольшого количества тонких и средней мощности сближенных угольных пластов, из которых лишь 3...4 имели промышленное значение. Мощность угленосной толща изменяется от 140...160 до 200...240 м.

В тектоническом отношении бассейн представляет собой группу вытянутых в меридиональном направлении относительно узких, но довольно глубоких асимметричных складок, зачастую разобщенных между собой. Длина складок изменяется от 5...10 до 40...60 км, а ширина — от 0,8...2 до 5...8 км. Глубина залегания угленосной толща в приосевых частях синклиналиных складок достигает 600...1 500 м, а в осевых частях мелких синклиналей — от 100 до 600 м. Существенной особенностью бассейна является наличие в покрывающих и подстилающих породах угленосной толща комплекса обводненных карстующихся карбонатных отложений, выходы которых на поверхность земли занимают до 80 % площади региона.

Гидрография и специфика климата региона существенно влияют на гидрогеологию бассейна, где за год выпадает до 750 мм осадков, до 30 % которых идет на пополнение запасов подземных вод. Химическая денудация и воздей-

ствии углекислоты пород способствуют формированию в карбонатных отложениях  $\text{HCO}_3\text{—Ca}$ -состава подземных вод с минерализацией 0,06...0,89 г/л. Подземные воды в бассейне представлены следующими водоносными комплексами: трещинно-карстовые воды карбонатных отложений нижней перми  $P_1$  и среднего карбона  $C_2$  (верхний надугольный водоносный комплекс); трещинно-карстовые воды башкирского яруса среднего карбона  $C_2$  и визейского яруса нижнего карбона  $C_1$  (нижний надугольный водоносный комплекс); трещинно-пластовые воды угленосной толщи  $C_1h$ ; трещинно-карстовые воды карбонатных отложений турнейского яруса  $C_1t$  нижнего карбона  $C_1$  и среднего девона  $D_2$  (подугольный водоносный комплекс).

Водообильность водоносных горизонтов находится в прямой зависимости от коэффициента закарстованности пород, величина которого варьируется от 0,5 до 8 %. Водоносные горизонты надугольных карбонатных отложений характеризуются сотнями миллионов кубических метров статических запасов подземных вод. Водопритоки в горные выработки формировались главным образом за счет трещинно-пластовых вод угленосной толщи и трещинно-карстовых вод нижнего надугольного водоносного комплекса.

При разработке месторождения в результате дренирующего влияния горных работ уровень подземных вод в нижнем надугольном водоносном комплексе был снижен на 200...350 м, а уровень воды в отложениях угленосной толщи практически опустился до отметки рабочих горизонтов. После 1985 г. на девяти из шестнадцати закрытых шахтах водопритоки в горные выработки на 60...70 % формировались за счет трещинно-карстовых вод, на четырех шахтах — исключительно только за счет притока трещинно-карстовых вод и на остальных трех шахтах в формировании водопритоков преобладающую роль играли трещинно-пластовые воды угленосной толщи.

Таблица 1  
Химический состав подземных и шахтных вод Кизеловского бассейна\*

Воды	рН	Минерализация, г/дм <sup>3</sup>	Количество компонентов, мг/дм <sup>3</sup>				
			$\text{HCO}_3$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Ca}^{2+}$	Fe(общ)	$\text{Al}^{3+}$
Подземные	7,3...7,5	0,08...0,89	12...280	2...90	4...148	—	—
Шахтные	2,5...3,5	2,5...6,5	—	740...8 060	40...273	131...3 020	28...400

Кизеловские угли — высокосернистые ( $S_{\text{общ}} > 4 \%$ ), влажность их не превышает 10 %. Поэтому при возмущении гидрогеологических условий, вызванных разработкой месторождения, образовывались высокоагрессивные кислые шахтные воды сульфатно-железисто-алюминиево-кальциевого состава (табл. 1).

Шахты бассейна, за исключением нескольких угольных предприятий, располагались в пределах Главной Кизеловской антиклинали (ГКА), Гремячинской и Коспашско-Полуденной синклиналей. Выработанные пространства шахт, расположенных на одной геологической структуре, по мере отработки запасов соединялись горными выработками, и шахтные воды закрывающихся шахт передавались водоотливному хозяйству действующих предприятий. Шахты бассейна закрывались и затопливались не одновременно (табл. 2). Затопление шахт происходило за счет притока подземных вод при опережающем и одновременно восстанавливаемом их уровне. По мере развития процесса затопления величина напора и объем притекающих в выработанное пространство подземных вод уменьшаются, в соответствии с этим происходит снижение скорости подъема уровня шахтных вод. В первые месяцы после начала затопления шахты скорость подъема уровня шахтных вод составляет 2...5 м в сутки. В последний месяц перед самоизливом на поверхность земли или стабилизацией уровня шахтных вод темп подъема их уровня не превышает 2...5 см в сутки. В результате затопления шахт в каждой геологической

\* Шахтные воды угольной промышленности / Б. Б. Немковский [и др.]. — Пермь, 1989. — 134 с.

Таблица 2

## Продолжительность затопления и объем излива шахтных вод

Геологическая структура, шахты	Средний водоприток в 1991 г., м <sup>3</sup> /ч	Начало		Место и абсолютная отметка самоизлива, м	Реки-приемники шахтных вод	Объем излива шахтных вод, м <sup>3</sup> /ч	
		затопления шахт, мес., год	самоизлива, мес., год			2006, IV квартал	2007, III квартал
Западное крыло ГКА Северная Имени Ленина	1 030	07.1997	Нет	Нет НС, +217 ВС, +215 Ш, +226 Ш, +231 Нет Ш, +162	— Большой Кизел То же » — Косьва	— 116 23	138 <sup>1</sup> 27 <sup>1</sup> 45 58
	2 136	02.1998	05.2001				
Комсомолец Имени Володарского Ключевская	—	—	—	Нет Ш, +226 Ш, +231 Нет Ш, +162	То же » — Косьва	— — — 10	— — — 14
	1 404	1964	—				
Имени Крупской Имени 40-летия ВЛКСМ Коспашско-Полуденная С Коспашская Широковская № 42	235	09.1995	Нет	Нет Ш, +221 Ш, +189	— — — —	— — — —	— — — —
	875	06.1993	11.2003				
Имени 40-летия ВЛКСМ Гремячинская С Гремячинская Западная Таежная	707	12.1998	05.2007	ШФ 2-бис, +303 Нет ШФ58, +288 —	Полуденный Кизел — Полуденный Кизел —	— — — —	237 <sup>2</sup> — — 20
	524	06.1996	05.2007				
Гремячинская С Имени 40-летия ВЛКСМ Гремячинская Западная Таежная	179	1993	Нет	Нет Ш, +199 Ш, +170	— — — Большая Гремячая	— — — 431	— — — 874 <sup>3</sup>
	683	1995	10.1999				
Таежная Западное крыло Косьювской С Центральная Имени Калинина Имени 1 Мая 13/14 Усьвинская С	38	1995	Нет	Нет Ш, +199 Ш, +170	— — — Косьва То же	— — — 376 34	— — — 327 <sup>4</sup> 15
	620	1994	Нет				
Имени 40-летия Октября Усьва-3 Имени Чкалова	30	06.1972	05.1997	ШФ17, +339 Ш, +352 Ш, +221 Ш, +189	Рахматулка То же Усьва То же	171 152 40 14	891 58 20 15
	1388	07.1992	06.2000				
С* Скальная Нагорная Шумихинская Владимирская Белый слой	—	05.1987	04.1988	Нет Ш, +221 1959	— — — — —	— — — — —	— — — — —
	396	1957	1986				
Имени Чкалова Скальная Нагорная Шумихинская Владимирская Белый слой	253	04.1998	Нет	Нет Ш, +221 1959	— — — — —	— — — — —	— — — — —
	550	1999	Нет				
Владимирская Белый слой	248	2000	Нет	ШФ63, +390	Полуденный Кизел	— —	— —
	—	1997	Нет				
Белый слой	—	1983	1986	—	—	104	23

С\* — синклинали; С\* — синклинали и шахта имеют аналогичные названия; НС, ВС — наклонный и вспомогательный стволы; Ш — штоль; ШФ — шурф. Общий излив шахт: 1 — имени Ленина, Северная, имени Володарского, Комсомолец; 2 — Широковская, имени 40-летия ВЛКСМ, Коспашская; 3 — Гремячинская, Западная, Таежная; 4 — 9-я деланка, Рудничная, имени Серова, Центральная, имени Урицкого, имени Калинина. Излив из штолов шахт «Комсомолец» и имени Володарского носит эпизодический, сезонный характер.

структуре, где разрабатывались угольные пласты, образовались подземные водоносные горизонты загрязненных шахтных вод. Границы этих горизонтов по падению, восстанию и простиранию соответствуют контуру отработанной и затопленной части шахтного поля, а мощность горизонтов — это сумма мощностей угольных пластов и их междупластий плюс величина высоты зоны обрушения. В зависимости от угла падения пласта высота зоны обрушения на шахтах бассейна изменялась от 4 до 6 мощностей отрабатываемых пластов. Водоносные горизонты загрязненных шахтных вод характеризуются своими статическими и динамическими запасами, областями питания и разгрузки, своим гидрохимическим составом. По сравнению с периодом работы шахты в первое время после начала самоизлива, в шахтных водах наблюдается повышенное содержание загрязняющих ее компонентов (табл. 3).

Таблица 3

Химический состав шахтных вод в начале их самоизлива

Место замера взятых проб	рН	Содержание в шахтных водах загрязняющих компонентов, мг/дм <sup>3</sup>				
		Ca <sup>2+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Al <sup>3+</sup>	Fe(общ)	Минерализация
Главный ствол шахты имени Ленина	2,9...3,2	350	14 800	450	4 300	25 200
Штольня шахты имени Калинина	2,7...2,8	300	12 300	230	4 100	21 000
Северная штольня шахты «Таежная»	2,9...3,0	260	5 600	180	1 500	9 000

В изливающихся шахтных водах присутствует также целый ряд микроэлементов (Zn, Be, Li, Mn, Pb, Co и др.) в количествах, многократно превышающих ПДК. Снижение концентрации загрязняющих компонентов в шахтных водах происходит через 2...3 года после начала их самоизлива. Дальнейшее снижение загрязненности шахтных вод до момента стабилизации этого процесса протекает медленно и может длиться до 10...15 лет и более. Так, на шахтах, закрытых 15...20 лет назад (шахта имени Чкалова), произошло существенное снижение загрязненности самоизливающихся шахтных вод, минерализация не превышает 1 г/л, содержание химических компонентов, за исключением железа и алюминия, почти не превышает ПДК. Однако реакция водной среды кислая (рН = 2,7...3,0). Динамика этого процесса зависит как от гидрогеологических и горнотехнических условий, так и от физико-механического состояния и химического состава угля, оставшегося в затопленном пространстве в виде просыпи в различного рода охранных и технологических целиках.

Абсолютные отметки уровней затопления шахт и мест самоизлива шахтных вод определяются положением их на рельефе местности. Низкие абсолютные отметки приурочены к понижениям рельефа (шахта имени Крупской, абс. отм. +162 м), а высокие (шахта «Белый слой», абс. отм. +390 м) — к возвышениям его. На текущий момент самоизлив шахтных вод происходит через устья горных выработок на десяти шахтах. Объемы самоизливающихся шахтных вод более подвержены сезонным климатическим изменениям и составляют от 15 до 80 % величины водопритока в шахты во время их эксплуатации. В определенных гидрогеологических и горнотехнических условиях затопление выработанного пространства происходит без выхода шахтных вод на земную поверхность. В таких случаях при полном затоплении шахты шахтные воды фильтруются в водоносные горизонты подземных вод и загрязняют их. Разгрузка загрязненных шахтными водами подземных вод происходит в виде родников на участках рельефа, приуроченных в основном к долинам рек. При устойчивой гидравлической связи между шахтными и подземными водами и небольшой разнице положения их уровней одновременно возможны и самоизлив шахтных вод на поверхность зем-

ли, и фильтрация их в горизонт подземных вод. Затопление шахт привело к большим изменениям гидрогеологической обстановки в бассейне. Уровень подземных вод, образовавшийся в результате разработки месторождения, практически восстановился и приблизился к первоначальному естественному его положению на шахтных полях в пределах Главной Кизеловской антиклинали, Косьвинской, Гремячинской и Коспашско-Полуденной синклиналей. Горные работы оказали наибольшее влияние на состояние трещинно-пластовых вод угленосной толщи и трещинно-карстовых вод верхневизейских и серпуховских карбонатных отложений. Поэтому при затоплении шахт воды этих водоносных горизонтов в большей мере подвергаются загрязняющему воздействию шахтных вод. В пробах воды из верхневизейского водоносного горизонта на полях шахт имени Ленина, «Центральная», «Нагорная» обнаружено превышение ПДК железа. Продолжается загрязнение намуро-визейского водоносного горизонта на шахте имени 40-летия Октября, трещинно-карстовых вод визейских карбонатных отложений на шахте «Шумихинская». Определенную роль в загрязнении подземных вод на затопленных шахтах играют незатампонированные подземные гидрогеологические скважины и пройденные по водоносным породам визейского возраста квершлаг (шахты «Широковская», «Центральная» и др.), в которых перед ликвидацией предприятия не соорудили изолирующие перемычки. Так, если в северной части Коспашско-Полуденной синклинали на поле шахты имени 40-летия ВЛКСМ не происходит загрязнения подземных вод, то на южном замыкании синклинали, на поле шахты «Широковская» наблюдается интенсивное загрязнение трещинно-карстовых вод верхневизейских карбонатных отложений. Шахтные воды в водоносный горизонт подземных вод проникают через центральный квершлаг II горизонта шахты, пройденный по обводненным породам визейского яруса. На затопленных шахтах Гремячинской синклинали в результате отсутствия крупных разрывных трещин, достигающих обводненных карбонатных отложений визейского водоносного комплекса, не происходит загрязнения подземных вод шахтными водами. На шахтах «Шумихинская», «Нагорная», «Скальная» сработанные при эксплуатации шахт уровни подземных вод практически восстановились, выработанные пространства полностью затоплены, но самоизлива шахтных вод на земную поверхность не произошло.

В бассейне в пределах шахтных полей воды верхнего надугольного ( $P_1-C_2$ ) и подугольного ( $C_{1t}-D_2$ ) водоносных комплексов не подвержены загрязняющему воздействию шахтных вод затопленных шахт. В зависимости от гидрогеологических условий температура подземных вод скважин и родников находится в пределах от +4 до +6 °С, а температура самоизливающихся шахтных вод на 1...3 °С выше.

Малые реки бассейна в результате слива в них шахтных вод и стоков породных отвалов непригодны для водопользования. Содержание Fe, Al, Mn, Be, Li, сульфатов и величина сухого остатка в водах этих рек значительно превышает ПДК. Уровень загрязненности основных рек бассейна ингредиентами шахтных вод зависит от величины притока впадающих в них малых рек и степени загрязненности их вод. В реке Яйва сосредотачиваются все поверхностные водотоки с площадей Коспашско-Полуденной синклинали и северных частей западных крыльев ГКА и Косьвинской синклинали. В результате разбавления и естественной самоочистки содержание загрязняющих компонентов, свойственных шахтным водам, в нижнем течении реки Яйва не превышает ПДК. В реку Косьва непосредственно сбрасываются шахтные воды с объединенного выработанного пространства шести шахт, расположенных на западном крыле Косьвинской синклинали, а также шахт имени Крупской, 40-летия Октября и 1 Мая 13/14. В меженный период в реку ежесуточно поступает до 50 т загрязняющих веществ, поэтому даже в нижнем течении реки содержание некоторых загрязняющих ингредиентов превышает ПДК. В реку Южная Вильва с самоизливающимися шахтными водами закрытых шахт Гремячинской синклинали поступает ежесуточно до 40 т загрязняющих веществ, в ре-



зультате этого в нижнем течении реки Усьва, в которую впадает Южная Вильва, содержание загрязняющих веществ превышает ПДК.

В бассейне находится более 60 плоских и конусообразной формы породных отвалов общей площадью более 300 га. Почти половина отвалов склонна к самовозгоранию. Происходящие внутри отвалов сложные тепловые процессы при определенных условиях завершаются образованием открытых очагов горения. Стоки породных отвалов формируются за счет атмосферных осадков и носят эпизодический характер. Содержание загрязняющих элементов в стоках зависит от величины атмосферных осадков, формы, площади и срока существования породного отвала. Наиболее загрязнены стоки плоских отвалов. В отдельных случаях содержание железа, сульфатов, алюминия и величина сухого остатка в сточной воде достигает сотен и даже тысяч мг/л. Стоки породных отвалов и шламоотстойников обогатительных фабрик, расположенных на выходах карбонатных отложений, являются источником загрязнения как поверхностных, так и подземных вод.

На затопленных шахтах участились случаи разрушения охранных угольных целиков с последующим провалом земной поверхности. Краевая часть угольного целика обычно разрушена и разбита системой трещин. При затоплении шахтные воды заполняют трещины, способствуя их дальнейшему распространению и постепенному разрушению целика. Полное разрушение угольного целика, особенно на выходах крутопадающих пластов, завершается проседанием и провалом земной поверхности.

Продолжительность затопления шахт, расположенных в разных геологических структурах, различна и изменяется от 3 до 10 лет. На некоторых шахтах не произошло самоизлива шахтных вод на поверхность земли. Из сложившихся гидрогеологической и экологической ситуаций возможны следующие выводы:

- после полного затопления выработанного пространства уровень подземных вод, пониженный в результате разработки месторождения, восстановился и принял практически первоначальное положение;
- в затопленном выработанном пространстве образовались горизонты загрязненных шахтных вод со статическими и динамическими запасами, областями питания и разгрузки, своим гидрохимическим составом;
- абсолютные отметки уровней затопления шахт и мест самоизлива шахтных вод на поверхности определяются рельефом местности;
- в зависимости от конкретных горно-геологических условий объемы самоизливающихся шахтных вод составляют от 15 до 80 % величины водопритока в шахты в период их эксплуатации;
- в определенных горно-геологических условиях при полном затоплении шахт не происходит выхода шахтных вод на земную поверхность; в этом случае шахтные воды фильтруются в горизонты подземных вод и загрязняют их;
- при наличии в затопленных шахтах незатампонированных подземных гидрогеологических скважин, незаперемыченных горных выработок, пройденных по обводненным карбонатным отложениям, одновременно с самоизливом шахтных вод возможна их фильтрация в горизонты подземных вод и загрязнение последних;
- для предотвращения загрязнения природных водотоков шахтными водами необходимо иметь для их очистки специальные сооружения;
- во избежание вторичного закисления очищенных шахтных вод русло малых природных водотоков необходимо очистить от кислых донных отложений;
- для исключения загрязнения окружающей среды газообразными продуктами и стоками отвалов шахтных пород необходима реализация мероприятий по улавливанию, сбору и очистке стоков отвалов и по предупреждению их самовозгорания.