



УДК 622.283.4:556.314:666.972.52

А. М. ГРЕЧКО, С. Н. КАЦЕМБА, С. И. БОГДАН (ОАО «Белгорхимпром»)

В. И. ПАШКЕВИЧ, Н. Н. ПАШКЕВИЧ (Институт природопользования НАН Беларуси)

ПРЕДПРОЕКТНАЯ ОЦЕНКА АГРЕССИВНОСТИ ВОДНОЙ СРЕДЫ И СПОСОБОВ ЗАЩИТЫ БЕТОННОЙ КРЕПИ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ШАХТНЫХ СТВОЛОВ НА ГАРЛЫКСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ (ТУРКМЕНИСТАН)



А. М. ГРЕЧКО,
зам. генерального
директора
по научной работе,
канд. геол.- минерал. наук



С. Н. КАЦЕМБА,
главный
специалист



С. И. БОГДАН,
зам. заведующего
отделом,
канд. техн. наук



В. И. ПАШКЕВИЧ,
ведущий
научный сотрудник,
канд. геол.- минерал. наук



Н. Н. ПАШКЕВИЧ,
ведущий
инженер

Изложены результаты исследований подземных и поровых вод в геологических разрезах проектируемых шахтных стволов на месторождении калийных солей с оценкой типов и степеней агрессивности системы «вода–среда» в отношении бетонных крепей. Установлены основные параметры и виды агрессивного воздействия, а также тренд возрастания агрессивности вод с глубиной. Даны рекомендации по выбору оптимальных марок цементов и бетонов, других способов защиты бетонного крепления при строительстве и эксплуатации шахтных стволов.

Ключевые слова: калийные соли, горные породы, подземные и поровые воды, химический состав, минерализация, типы и степени агрессивности, система «вода–среда», марки цемента и бетона, водопроницаемость бетона, виды нарушений крепи.

Химический состав и минерализация подземных вод и поровых растворов формируются в результате сложного взаимодействия комплекса природных факторов — климата, химического состава почв, литолого-химического состава пород зоны аэрации и водонасыщенной толщи — и являются важными характеристиками гидрогеохимических условий строительства и эксплуатации подземных сооружений, позволяющими оценить степень водонасыщенности литологического разреза и водозащитные свойства надсолевой толщи, установить отличия в степени проницаемости осадочных отложений на разных интервалах литологического разреза, а также степень возможного воздействия водной среды, в частности, на выбор цемента, обеспечивающего водостойкость бетона. Ниже представлены исследования этих характеристик, результаты и рекомендации для проектирования шахтных стволов на Гарлыкском месторождении калийных солей в Туркменистане.

Химический состав подземных вод определяли по результатам анализов проб воды, отобранных из гидрогеологических (№ 1г, 2г и 1н) и структурных геологоразведочных (№ 1к и 2к) скважин в процессе опытно-фильтрационных работ по изучению гидрогеологических и гидрогеохимических параметров участка строительства шахтных стволов. В гидрогеологических скважинах изуча-

ли водоносный горизонт четвертичных отложений (зона активного водообмена), в структурных геологоразведочных скважинах — водоупорный локально слабоводоносный горизонт нижнекарабийских и верхнегаурдакских отложений зоны замедленного водообмена.

Интервал опробования скважины № 1г составлял 11,6–54,3 м; водовмещающие породы определены по каротажу и представлены глинистым песком с прослоями супеси и включениями гравия и гальки; песчано-галечно-гравийными отложениями, неравномерно глинистыми и перекрытыми супесью с включением гравия и гальки (более 20 %); залегающими на плотных и массивных суглинках с редкими известняковыми включениями в виде гравия и гальки. Скважина № 2г опробована в интервале от 10 до 66,5 м. Водовмещающими породами являются песчано-гравийно-галечниковые отложения, в том числе сильно заглинизированные. Водовмещающие породы в интервале гидрогеологического изучения скважины № 1н (91–101 м) представлены сильноглинистым песком и известняковыми гравием (20 %) и галькой (60–70 %), залегающими между плотными массивными суглинками и аргиллитоподобными глинами.

Разрез нижнекарабийских и верхнегаурдакских отложений, состоящий в основном из аргиллитоподобных глин и аргиллитов



с прослоями алевролитов, опробовали в скважине № 1к в интервалах 108–150, 108–216 и 108–502 м (последний включал солоносные породы); в скважине № 2к — в интервале 106–190 м.

По результатам анализов, минерализация воды четвертичных отложений в скважинах № 1г, 2г и 1н изменяется от 2,3 до 2,8 мг/дм³, что существенно превышает предельно допустимые концентрации (ПДК) питьевой воды. Вода очень жесткая (общая жесткость 14,2–21,5 ммоль/дм³), и с глубиной от 11,6 до 101 м ее минерализация, как и жесткость, незначительно уменьшаются, что соответствует и свойственно подземным водам, формирующимся в условиях аридного климата и залегающим близко к поверхности земли. В пробах воды наблюдается также высокая концентрация натрия и хлоридов, превышающая ПДК питьевой воды, соответственно, в 2,75–3,14 и 2,45–2,89 раза. В скважинах № 1г и 2г установлено несколько повышенное количество сульфатов (в 1,06–1,45 раза ПДК). По химическому составу (формула солевого состава воды [1]) исследуемые воды относятся к хлоридно-сульфатным натриево-кальциево-магниевым; по общей минерализации — к воде с малой минерализацией, при употреблении которой физиологическое воздействие слабо отличается от пресных вод.

По результатам лабораторного анализа, подземные воды разреза нижекарабийских отложений зоны замедленного водообмена, опробованные в структурной геологоразведочной скважине № 2к в интервале 106–190 м, имеют весьма высокие минерализацию (268,6 г/дм³) и содержание хлоридов, натрия, сульфатов; очень жесткие (307,5 ммоль/дм³) и по химическому составу [1] отнесены к хлоридной и натриевой. Воды нижекарабийских и верхнегаурдакских отложений, изученные по пробам скважины № 1к, обладают высокой минерализацией (от 134,8 до 145,6 г/дм³) и жесткостью (310 ммоль/дм³), повышенным содержанием хлоридов (75,5–80,5 г/дм³), натрия (43,9–42,4 г/дм³), сульфатов (7,4–8,2 г/дм³); с глубиной увеличивается содержание аммонийных солей — до 33,2 мг/дм³; по анионному составу отнесены к хлоридным, по катионному — к натриево-кальциево-магниевым и натриево-магниевым.

Химический состав поровых вод изучали по образцам, отобранным из керн скважин № 1к (в интервале глубин от 77,5 до 180,8 м) и № 3к (в интервале глубин от 66,4 до 186,2 м). Для отжима поровых вод использовали образцы связанных горных пород — супеси, суглинки, глины, аргиллиты и алевролиты — с естественной влажностью. В скважине № 1к минерализация поровых вод изменялась от 6,1 до 208,9 г/дм³ и лишь в одном образце возростала до 354 г/дм³. При этом минимальная минерализация (6,06–6,27 г/дм³) отмечена в поровых водах из верхней части разреза (77,5–85,3 м), представленного суглинками четвертичного возраста. Далее в интервале глубин от 95,3 до 149,6 м в толще карабийских отложений наблюдается закономерный рост минерализации от 11,79 до 206,88 г/дм³ и лишь вблизи подошвы этих отложений в образце с глубины 180,6–180,8 м отмечено уменьшение минерализации до 159,9 г/дм³. Синхронно с величиной минерализации изменяется и химический состав поровых вод: в верхней части разреза поровые воды с минерализацией от 6,06 до 11,79 г/дм³ относятся по химическому

составу к хлоридно-сульфатным натриево-магниевым-кальциевым, а далее по разрезу, при более высокой минерализации поровых вод, — к исключительно хлоридным натриевым.

Сходный химический состав имеют поровые воды в отложениях, вскрытых разведочной скважиной № 3к. Для разреза характерна четко выраженная прямая вертикальная гидрогеохимическая зональность. Здесь, как и в разрезе скважины № 1к, синхронно с минерализацией изменяется химический состав поровых вод: в самой верхней части изученной толщи, на глубинах 66,4–90,8 м, при минерализации поровых вод 5,54–9,32 г/дм³ воды по химическому составу отнесены к хлоридно-сульфатным натриево-кальциевым и натриевым; глубже, при более высокой минерализации (от 20,81 до 174,43 г/дм³), — исключительно к хлоридным натриевым.

Агрессивность подземных и поровых вод рассчитывали в соответствии с нормативно-справочной и методической литературой [1–6], выбор бетона и цемента осуществляли по нормативной документации [4–6]. При этом агрессивность среды разделяют на следующие типы: сульфатная, магниезальная, выщелачивающая, общекислотная; а степень агрессивности среды по отношению к цементам и бетонам — на агрессивную (А), неагрессивную (Н), слабую (Сл), умеренную (У), сильную (С).

Сульфатная агрессивность проявляется при контактировании бетона с водой: в нем появляются новые соединения — гипс ($\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$) с увеличением объема на 100 % и сульфоалюминат кальция (бетонная бацилла) с увеличением объема в 2,5 раза, вследствие чего он вспучивается и разрушается. Магниезальная агрессивность разрушает несвязанную известь $\text{Ca}(\text{OH})_2$ бетона, проникая в его тело. Углекислотная возникает в процессе взаимодействия воды и бетона, при котором под действием агрессивной углекислоты (CO_2) из цемента выделяется свободная известь (CaCO_3) и реагирует со свободной углекислотой с образованием при этом растворимого бикарбоната кальция, который легко выносится из бетона. Выщелачивающая и общекислотная агрессивность среды проявляется в растворении и вымывании из бетона содержащейся в нем извести.

Агрессивность подземных вод определяли по результатам химических анализов проб воды с учетом коэффициента фильтрации пород, так как от его значения может изменяться агрессивность воды — одна и та же вода при разных коэффициентах фильтрации может быть как агрессивной, так и неагрессивной.

В пробах воды четвертичных отложений в интервале 11,6–101 м отмечается [1–3] сульфатная агрессивность средней степени к бетону средней плотности на основе несulfатостойких портландцементов, обусловленная повышенным содержанием хлоридов и сульфатов. Согласно СНиП [4, 5] и с учетом коэффициентов фильтрации воды до глубины 66,4 м неагрессивны к бетонам всех марок от W_4 до W_{12} по водопроницаемости с портландцементами по ГОСТу 10178 и сульфатостойким цементам по ГОСТу 22266. Ниже, с глубины 66,4 м, присутствует сульфатная агрессивность слабой степени к бетонам марок W_4 – W_{10} включительно, портландцементам; неагрессивная среда — к сульфатостойким цементам.



По результатам анализов проб воды скважин № 1к и 2к (разрез ниже четвертичных отложений) выделены следующие типы агрессивности воды к бетону средней плотности: сульфатная — сильной степени, магниезальная — сильной и средней степени, выщелачивающая и общекислотная — средней и слабой степени. В пробе воды скважины № 1к в интервале опробования 108–501 м определена также уголекислотная агрессивность сильной степени. В соответствии со СНиП [4, 5], по содержанию основных химических компонентов установлены все виды агрессивности, кроме выщелачивающей: сульфатная, магниезальная, общекислотная и уголекислотная. Сульфатная агрессивность слабой, умеренной (средней) и сильной степени определена к бетонам марок от W_4 до W_{12} с портландцементами по ГОСТу 10178. Магнезиальная и общекислотная агрессивность слабой и средней степени установлена по отношению к бетону марок от W_4 до W_6 по водопроницаемости на основе портланд- и сульфатостойких цементов, а уголекислотная — к бетонам марок W_4 – W_6 средней степени и марок W_8 – W_{12} слабой степени агрессивности на основе портландцементов.

Агрессивность поровых вод рассчитывали по результатам анализов проб воды, отжатой из образцов горных пород керна геологоразведочных скважин № 1к и 3к. Результаты анализов показали наличие по всему исследуемому разрезу сульфатной агрессивности сильной степени, общекислотной — слабой, магниезальной — средней к бетону средней плотности. Согласно СНиП [4, 5], установлена сульфатная агрессивность, которая может оказывать воздействие на бетон марок W_4 – W_{12} по водопроницаемости к портландцементам по ГОСТу 10178 без содержания C_3S в клинкере, а также к содержащим C_3S на основе сульфатостойкого цемента по ГОСТу 22266. Установлена также слабая (и единично умеренная) общекислотная агрессивность на бетон марки W_4 и слабоумеренная магниезальная агрессивность на бетон марок W_4 – W_6 . При этом единичный образец на глубине 145 м показывает сильную степень воздействия к бетону марок W_4 , W_6 и умеренную — к марке W_8 . Одна из проб (на глубине 149,3 м) показала слабую едкощелочную агрессию к бетону марки W_4 .

Таким образом, по результатам исследований установлено наличие различных типов и степеней агрессивности подземных и

поровых вод по всему геологическому разрезу горных пород проектируемых шахтных стволов на Гарлыкском месторождении калийных солей с общим трендом ее (агрессивности) возрастания с глубиной.

В связи с этим рекомендовано при проектировании и строительстве шахтных стволов осуществлять выбор цемента и бетона с учетом гидрохимических параметров агрессивности системы «вода–среда» во избежание аварийных ситуаций, связанных с крошением и разрушением бетона, его вспучиванием, разъеданием и т. д. При установлении любого типа и степени агрессивности хотя бы по одному признаку (химическому компоненту) водостойкость бетона должна быть обеспечена специальными мероприятиями: выбором надлежащего цемента согласно СНиП, гидроизоляцией, применением защитных оболочек, снижением степени агрессивности воды и др.

Библиографический список

1. Справочник гидрогеолога / под общ. ред. М. Е. Альтовского. — М. : Госгеолтехиздат, 1962.
2. Кацемба С. Н., Коваленко В. Э. Типы агрессивности подземных вод на застраиваемых территориях // Водные ресурсы и экология Беларуси (матер. конф.). — Минск, 2001.
3. Самарина В. С. Гидрогеохимия. — Л. : Изд-во Ленинградского ун-та, 1977.
4. Защита строительных конструкций от коррозии. Строительные нормы и правила СНиП 2.03.11-85. Госстрой СССР. — М., 1986.
5. Защита строительных конструкций от коррозии. Строительные нормы проектирования. Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь. — Минск, 2009.
6. Изменение № 1 СТБ 1544-2005. Бетоны конструкционные тяжелые. Технические условия. Госстандарт РБ. — Минск, 2010. [ФЖ]

*Гречко Анатолий Михайлович,
тел.: +375 (17) 334-74-94
Кацемба Светлана Николаевна,
Богдан Сергей Иванович:
тел.: +375 (17) 334-86-01
Пашкевич Василий Иванович,
Пашкевич Нина Николаевна:
тел.: +375 (17) 267-26-32*

PREPROJECT ASSESSMENT OF WATER MEDIUM AGGRESSIVENESS AND METHODS OF PROTECTION OF CONCRETE SUPPORT DURING THE CONSTRUCTION AND EXPLOITATION OF SHAFTS AT GARLYK POTASSIUM SALTS DEPOSIT (TURKMENISTAN)

Grechko A. M. 1, Deputy Chief Executive Officer on Scientific Work, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, phone: +375(17)334-74-94

Katsemba S. N. 1, Chief Specialist

Bogdan S. I. 1, Deputy Head of Department, Candidate of Engineering Sciences

Pashkevich V. I. 2, Leading Researcher, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences

Pashkevich N. N. 2, Leading Engineer

¹ «Belgorkhimprom» JSC (Minsk, Republic of Belarus)

² Institute for Nature Management of National Academy of Sciences of Republic of Belarus (Minsk, Republic of Belarus)

According to results of researches, there was founded the presence of various types and grades of aggressiveness of underground and void waters by whole geological section of rocks of designed shafts at Garlyk potassium salts deposit with common trend of aggressiveness' growth with depth.

According to this, there is recommended the choice of cement and concrete, taking into account the hydrochemical parameters of aggressiveness of «water-medium» system during the designing and construction of shafts, for the purpose of avoiding of emergency situations, connected with crumbling and destruction of concrete, its blowout, corrosion etc. In the time of definition of any type and rate of aggressiveness at least by one criterion (chemical component), the water resistance of concrete should be provided by following special measures: choice of appropriate cement, according to the Construction Directives and Rules; hydroisolation; usage of protective covers; decreasing of the grade of water aggressiveness etc.

Keywords: potassium salts, rocks, underground and vapour rocks, chemical composition, mineralization, types and grades of aggressiveness, «water-medium» system, grades of cement and concrete, water permeability of concrete, types of support disturbances.

REFERENCES

1. *Spravochnik gidrogeologa* (Reference book of hydrogeologist). Under the general editorship of M. E. Altovskiy. Moscow : Gosgeoltekhizdat, 1962.
2. Katsemba S. N., Kovalenko V. E. Tipy agressivnosti podzemnykh vod na zastravaemykh territoriyakh (Types of aggressiveness of underground waters at constructed territories). *Vodnye resursy i ekologiya Belarusi (materialy konferentsii)* (Water resources and ecology of Belarus (materials of conference)). Minsk, 2001.
3. Samarina V. S. *Gidrogeokhimiya* (Hydrogeochemistry). Leningrad : Publishing House of Leningrad University, 1977.
4. *Zashchita stroitelnykh konstruksiy ot korrozii. Stroitelnye normy i pravila SNIP 2.03.11-85. Gosstroy SSSR* (Protection of building units from corrosion. Construction Directives and Rules 2.03.11-85. USSR State Committee for Construction, Architectural and Housing Policy). Moscow, 1986.
5. *Zashchita stroitelnykh konstruksiy ot korrozii. Stroitelnye normy proektirovaniya. Ministerstvo arkhitektury i stroitelstva Respubliki Belarus* (Protection of building units from corrosion. Construction design rules. Ministry of Architecture and Construction of Republic of Belarus). Minsk, 2009.
6. *Izmenenie No. 1 STB 1544-2005. Betonny konstruksionnyye tyazhelye. Tekhnicheskiye usloviya. Gosstandart Respubliki Belarus* (Change No. 1 of Standards of the Republic of Belarus 1544-2005. Structural heavy concretes. Technical requirements. State Standard of Republic of Belarus). Minsk, 2010.