

МОНИТОРИНГ И ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ВЕРХНЕКАМСКОГО СОЛЕНОСНОГО БАССЕЙНА

Белкин В.В.¹, Коноплев А.В.², Ковин О.Н.³, Наумова О.Б.³

¹ ООО «ЕвроХим-Усольский калийный комбинат», okno334@mail.ru;

² Естественнонаучный институт Пермского государственного национального исследовательского университета, kono2003@gmail.com;

³ Пермский государственный национальный исследовательский университет, geophysic@psu.ru

Оценка техногенного влияния на недра невозможна без наличия различных по масштабу целенаправленных наблюдений за объектами геологической среды, на основе результатов которых и могут быть установлены тенденции развития различных инженерно-геологических процессов, вскрыт их механизм и разработаны способы управления ими. Мониторинг геологической среды эксплуатируемых соляных месторождений осуществляется комплексом исследований, включающим дистанционное зондирование, инструментальные наблюдения за сдвижением земной поверхности, выявление связи ее деформаций с объемами добытой руды, ведение сейсмологического контроля, проведение других геофизических работ (сейсмо-, электро-, гравиразведки) на участках с аномальным строением водозащитной толщи, регистрацию гидродинамического, гидрогеохимического и газового режима подземных вод. Ведение мониторинга является необходимым условием безопасности эксплуатации и рационального использования георесурсов соленосных бассейнов.

Ключевые слова: геологическая среда, мониторинг, Верхнекамский соленосный бассейн.

MONITORING AND EVALUATION OF GEOLOGICAL ENVIRONMENT OF UPPER KAMA SALT BASIN

Belkin V.V.¹, Konoplev A.V.², Kovin O.N.³, Naumova O.B.³

¹ Ltd. "EuroChem- Usolskiy potash plant", okno334@mail.ru;

² Natural Science Institute of Perm State National Research University, kono2003@gmail.com;

³ Perm State National Research University, geophysic@psu.ru

Technogenic influence on the bowels is not possible without the presence of different-scale goal-directed observations of objects of geological environment, based on the results of which can be installed and trends in the development of various engineering-geological processes, opened their mechanism and developed ways to manage

them. Monitoring of the geological environment exploited salt deposits made complex investigations involving

Remote Sensing, instrumental observations of the Earth's surface displacement, identifying its connection deformations with the volumes of ore mined, conducting seismic control, carrying out other geophysical work (seismic, electromagnetic, gravity) in areas with anomalous structure waterproof stratum, registration hydrodynamic, hydrogeochemical and gas in the groundwater regime. Monitoring is essential for safe operation and management is-use georesources of salt basins.

Keywords: geological environment, monitoring, Upper Kama salt basin.

Проблема безопасного недропользования при разработке месторождений калийных солей является в современном индустриальном обществе как никогда актуальной. Деятельность человека, связанная с влиянием на геологическую среду, приобрела масштабы, в значительной мере сопоставимые с действием региональных природных процессов. Наиболее важным негативным последствием работы калийных рудников является их труднопрогнозируемое техногенное затопление. В мире затоплено уже более 80 соляных рудников. Оценка техногенного влияния на недра невозможна без наличия различных по масштабу целенаправленных наблюдений за объектами геологической среды (ГС), на основе

результатов которых и могут быть установлены тенденции развития различных инженерно-геологических процессов, вскрыт их механизм и разработаны способы управления ими.

Методы исследований. Основные исследования выполнялись в рамках проектов «Мониторинг геологической среды Верхнекамского солеродного бассейна», при проведении которых применялись методы: анализа состояния геологической среды, в т.ч. геолого-структурных особенностей горных массивов на разных масштабных уровнях; проходки разведочных горных выработок и скважин и натуральных измерений в них; комплексного анализа геологических, гидрогеологических, гидрологических, геофизических, маркшейдерских и геомеханических данных с использованием ГИС-технологий [2].

Обсуждение результатов исследований. Освоение Верхнекамского соленосного бассейна (ВКСБ) началось после его открытия в 1925 г. В настоящее время ОАО «Уралкалий» производит около 20 % от мирового объема калийных удобрений. Подземные горные работы, производимые на калийных рудниках, - основной фактор техногенного воздействия на геологическую среду ВКСБ.

К ВКСБ относится крупная площадь сплошного развития соленосных отложений с пластами каменной соли, сильвинита и карналлитовой породы в единой структуре – Соликамской впадине, расположенной в пределах Предуральского краевого прогиба и ограниченной с запада Восточно-Европейской платформой, а с востока – Западно-Уральской зоной складчатости. Она занимает площадь 11847 км², приурочена преимущественно к левобережной части р. Камы и вытянута примерно на 200 км в меридиональном направлении и до 50 км – в широтном. Большую часть ВКСБ (Соликамской впадины) занимает Верхнекамское месторождение калийных солей, представляющее собой многопластовую залежь, вытянутую в меридиональном направлении и делящуюся субширотными структурами (Боровицкой и Дуринской) на три обособленные части: северную, центральную и южную. Площадь развития калийных солей, залегающих на глубинах до 600 м, составляет 3750 км². В строении бассейна выделяют три существенно различных по составу комплекса пород осадочного чехла – нефтеносный подсолевой, соленосный и водоносный надсолевой.

Верхнекамское месторождение характеризуется повышенной сейсмичностью и геодинамической активностью, аномально высокими значениями скоростей современных вертикальных движений дневной поверхности, ограничено активными на современном этапе тектогенеза глубинными разломами [3].

На территории ВКСБ к основным процессам, которые приводят к нарушению устойчивости геологической среды, можно отнести очистную выемку калийных руд, добычу нефти и воды, эксплуатацию шламохранилищ, солеотвалов, работу промышленных предприятий. В процессе 80-летней эксплуатации ВКСБ горным способом в его недрах

образовались сотни миллионов кубических метров пустот. В солеотвалах высотой до 100 м скопилось более 300 млн т твердых отходов, а в шламохранилищах калийных предприятий сосредоточены сотни тысяч кубометров жидких отходов. В пределах ВКСБ из надсолевых водоносных горизонтов ежедневно откачивается 150–200 тыс. м³ подземных вод, а из подсолевых отложений добывается ежегодно несколько миллионов тонн нефти. На площади бассейна расположены три крупных водохранилища, используемых для целей технического водоснабжения. На участках складирования твердых и жидких солеотходов наблюдается засоление почв, подземных и поверхностных вод. На нескольких шахтных полях фиксировались ускоренные оседания земной поверхности. В 1986 г. в результате нарушения сплошности водозащитной толщи (ВЗТ) был затоплен рудник Третьего Березниковского калийного рудоуправления (БКРУ-3). В 2006 г. из-за нарушения целостности водозащитной толщи началось затопление рудника БКРУ-1. Затопление рудников привело к тяжелым не только технико-экономическим, но и геоэкологическим последствиям. Одним из таких последствий явилось образование на месте их затопления провалов земной поверхности. Аварии на рудниках и многочисленные сейсмические явления дают основание полагать, что различные техногенные воздействия в настоящее время переходят в наступательную, прогрессирующую стадию. Их влияние приобретает комплексный характер, охватывая не только геологическую, но и сопредельные среды (поверхностная гидросфера, атмосфера, биоресурсы и др.) [3].

Мониторинг геологической среды (МГС) предусматривает разработку рекомендаций по предотвращению или ослаблению негативных последствий антропогенной деятельности. Для Верхнекамского соленосного бассейна это могут быть рекомендации по снижению последствий ведения горных и (или) нефтедобычных работ.

Объектом МГС является участок недр, в пределах которого осуществляется изучение состояния ГС и прогноз развития различных негативных процессов и явлений под влиянием горных и нефтедобычных работ и связанной с ними промышленной инфраструктуры [8].

Целью МГС является информирование органов представительной и исполнительной властей, управления Государственным фондом недр о возможном проявлении опасных процессов при эксплуатации калийных рудников и месторождений нефти.

Основными задачами МГС и сопряженных с ней сред являются:

- а) проведение систематических наблюдений за состоянием массивов горных пород в районе действующих калийных рудников и нефтедобывающих скважин, водозаборов подземных и поверхностных вод, участков проявления экзогенных и эндогенных геологических процессов для получения данных, характеризующих закономерности развития негативных явлений и факторов, их вызывающих;
- б) сбор и получение данных о природных и техногенных факторах, определяющих

возникновение сейсмичности, развитие процессов загрязнения поверхностных и подземных вод, почв, растительности, изменение рельефа земной поверхности;

в) анализ, обработка и хранение информации о состоянии геологической среды в разные периоды времени;

г) регулярное составление и проверка долго-, средне- и краткосрочных прогнозов активизации различных негативных процессов и явлений, в том числе прогноз чрезвычайных ситуаций, которые могут возникнуть в процессе горных работ или нефтедобычи;

д) периодическое проведение специального обследования территории Верхнекамского соленосного бассейна и оценка подверженности населенных пунктов, водозаборов, промышленных объектов негативному техногенному воздействию;

е) разработка рекомендаций по охране и рациональному использованию геологической среды.

Значительная техногенная нагрузка на недра, обусловленная добычей из них различных полезных ископаемых, наряду со сложным строением ГС, привела к существенному изменению геодинамической обстановки в регионе. В горном массиве происходят сложные процессы перераспределения и концентрации напряжений в недрах, прогноз которых с достаточной степенью достоверности известными методами пока невозможен. Недостаточная полнота изучения и контроля, в первую очередь геодинамических условий региона, может привести к проявлению техногенных землетрясений, последствия которых могут быть катастрофическими как для населения городов, так и для сохранения природных ресурсов [7]. Поэтому без постоянного комплексного изучения, анализа, оценки и прогнозирования изменений состояния геологической среды успешная хозяйственная деятельность в регионе становится практически невозможной [1].

Реализация названных задач осуществляется: путем оценки устойчивости геологической и сопредельных сред в Верхнекамском соленосном бассейне, в первую очередь на участках его многоуровневой эксплуатации (добыча калийных солей, нефти, воды); составления кратко-, средне- и долгосрочных прогнозов изменения устойчивости ГС в ВКСБ; разработки мероприятий по повышению устойчивости геологической среды и совершенствованием способов одновременной добычи солей, нефти и подземных вод [3].

Методология выявления потенциально опасных участков на калийных рудниках заключается в сборе и последующем анализе любой горно-геологической информации, касающейся отклонений в строении водозащитной толщи. В первую очередь должна анализироваться оперативная информация, источниками которой должны быть работники рудников, заметившие какие-либо аномалии (капеж, участки трещиноватости, газопроявления и т.д.). Кроме того, аномалии могут проявляться зонами ускоренных оседаний по данным маркшейдерско-геодезического мониторинга земной поверхности. Они могут быть выделены в процессе бурения разведочных скважин с поверхности – зоны неполного разреза ВЗТ,

динамические разновидности каменной соли, открытые секущие трещины в ВЗТ и др. Часто они обнаруживаются при проведении геофизических исследований, например сейсморазведочных, а также при определении механических свойств пород.

Один из основных способов контроля ГС – проведение топогеодезических инструментальных наблюдений за сдвижением земной поверхности по профильным линиям грунтовых реперов. В настоящее время на наблюдательных станциях на шахтных полях калийных рудников заложено несколько тысяч реперов. Цель наблюдений – выявление закономерностей процесса сдвижения земной поверхности в различных горно-геологических условиях.

Другой важнейший комплекс методов при ведении МГС – геофизические методы исследования. Результаты данных исследований используются для выявления потенциально опасных зон, при прогнозе возникновения и развития негативных процессов [2, 9]. В комплекс геофизических методов, используемых, в первую очередь, на участках с аномальным строением водозащитной толщи, кроме сейсмологического контроля, входит сейсмо-, электро-, гравиразведка.

Мониторинг подземной гидросферы – составная часть МГС. Его цель – изучение состояния и динамики изменения подземных и поверхностных вод под влиянием как техногенных, так и естественных факторов для обоснования мероприятий по предотвращению негативных последствий влияния горного предприятия. Необходимо отметить, что в соответствии с действующим законодательством о недрах объектный мониторинг гидросферы осуществляется в пределах горного отвода и зоны существенного влияния горного предприятия.

Основные задачи при ведении мониторинга природных вод следующие:

- выявление гидрогеодинамических изменений в режиме надсолевых вод как индикаторов процессов, представляющих потенциальную опасность затопления для калийных рудников;
- определение масштабов техногенного загрязнения природных вод и разработка способов его снижения.

Объектом исследования является верхняя геодинамическая зона – зона активного водообмена. Мониторинг природных вод проводится на участках складирования солеотходов по сети наблюдательных скважин и гидропостов. Наблюдения включают в себя замеры уровня и гидрохимическое опробование подземных вод в скважинах, измерения уровней, расходов воды и гидрохимическое опробование поверхностных водотоков на гидропостах и водопунктах. В результате наблюдений вокруг участков складирования солеотходов выявлены и контролируются ореолы засоления природных вод.

При существующей техногенной нагрузке на недра Верхнекамский регион отнесен в настоящее время к районам, где возможны землетрясения силой 6–7 баллов (по сейсмической

шкале MSK–64 для средних грунтовых условий). Исходя из этого, создание надежной системы оперативного прогноза землетрясений представляется неотложной задачей [6]. Наиболее перспективно в этом отношении применение технологии REPS, базирующейся на слежении за эволюциями открытой Г.С. Вартаняном в 1982 г. новой разновидности естественного поля – гидрогеодеформационным полем Земли (ГГД – поле) [5].

Деформационные процессы, тектонодинамические эффекты, волновые явления, как медленно, так и пульсационно развивающиеся, мгновенно отражаются на поведении гидросферы. Контролируя ее, можно видеть текущее состояние тектонических нарушений, возникновение критических напряжений на их границах, формирование очаговых зон будущих землетрясений.

Изучение ГГД-поля основано на наблюдениях за колебаниями уровней подземных вод в скважинах, обусловленных изменениями напряженно-деформированного состояния горного массива. Кроме того, различные пликативные нарушения, зоны приразломной трещиноватости, газовые полости и другие «жесткие» и «мягкие» неоднородности в таком массиве, нарушенном горными работами, вызывают изменения в поле напряжений, растрескивание соляных пород и их дегазацию. В результате концентрация газов в вышележающем горизонте повышается, что также фиксируется в процессе наблюдений.

Начиная с 2000 г. измерения уровня подземных вод уровнемерами типа «ORPHIMEDES» сопровождались непрерывным контролем атмосферного давления с помощью барометра БРС-1М со стандартным интерфейсом, позволяющим подключать его к компьютеру для накопления и последующего считывания данных. Один раз в неделю из скважины № 5 мг отбирались газовые пробы. Анализ газовых проб показал, что содержание метана, газа-индикатора разрушения сильвинитовых и карналлитовых пластов, относительно высокое весной, летом, осенью (0,4-0,9 %) и низкое зимой – менее 0,4 % (рис.1).

В данном случае представляется приемлемой связь содержания метана с изменением гидростатического давления на метаносодержащие породы (с усилением питания подземных вод, например в весеннее половодье, повышенное гидростатическое давление вызывает увеличение выделения метана) [4]. Рисунок иллюстрирует характер изменения уровня подземных вод в скважине № 5 мг.



Рис. 1. Вариации уровня подземных вод и концентрации метана

Выводы. Мониторинг геологической среды эксплуатируемых соляных месторождений осуществляется комплексом исследований, включающим дистанционное зондирование, инструментальные наблюдения за сдвижением земной поверхности, выявление связи ее деформаций с объемами добытой руды, ведение сейсмологического контроля, проведение других геофизических работ (сейсмо-, электро-, гравиразведки) на участках с аномальным строением водозащитной толщи, регистрацию гидродинамического, гидрогеохимического и газового режима подземных вод. Ведение мониторинга является необходимым условием безопасности эксплуатации и рационального использования георесурсов соленосных бассейнов.

Список литературы

1. Белкин В.В. Охрана недр при разработке Верхнекамского месторождения // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2002. – № 12. – С. 40-43.
2. Белкин В.В. Мониторинг геологической среды в процессе разработки калийных месторождений // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2008. – № 1. – С. 49-59.
3. Белкин В.В. Состояние геологической среды Верхнекамского соленосного бассейна // Разведка и охрана недр. – 2008. – № 8. – С. 77-82.
4. Белкин В.В. Техногенная трансформация геологической среды Верхнекамского соленосного бассейна: автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук. – Екатеринбург, 2010. – 47с.
5. Варганиян Г.С., Куликов Г.В. Гидрогеодеформационное поле Земли. Доклады АН СССР. – 1982. – Т. 2. – С. 310-314.

6. Копп М.Л., Вержбицкий В.Е., Колесниченко А.А., Копылов И.С. Новейшая динамика и вероятное происхождение Тулвинской возвышенности (Пермское Приуралье) // Геотектоника. – 2008. – № 6. – С. 46-69.
7. Копылов И.С., Коноплев А.В., Ибламинов Р.Г., Осовецкий Б.М. Региональные факторы формирования инженерно-геологических условий территории Пермского края // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2012. – № 84. – С. 102-112.
8. Копылов И.С., Коноплев А.В. Методология оценки и районирования территорий по опасностям и рискам возникновения чрезвычайных ситуаций как основного результата действия геодинамических и техногенных процессов // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 1; URL: www.science-education.ru/115-11918 (дата обращения: 03.09.2014).
9. Kovin O. Mapping of evaporite deformation in a potash mine using ground penetrating radar: Upper Kama deposit, Russia. Journal of Applied Geophysics. 2011. Т. 74. № 2-3. С. 131-141.

Рецензенты:

Середин В.В., д.г.-м.н., профессор, заведующий кафедрой инженерной геологии и охраны недр Пермского государственного национального исследовательского университета, г. Пермь.

Ибламинов Р.Г., д.г.-м.н., профессор, заведующий кафедрой минералогии и петрографии Пермского государственного национального исследовательского университета, г. Пермь.