



**СТРАТЕГИЯ
И
ПРОЦЕССЫ
ОСВОЕНИЯ
ГЕОРЕСУРСОВ**





Ural Branch of the Russian Academy of Sciences
Mining Institute

STRATEGY AND PROCESSES OF MASTERING OF GEORESOURSE

*Materials of scientific session of Mining Institute
of Ural Branch of the Russian Academy of Sciences*

18-22 April 2005

Perm 2005

Уральское отделение Российской академии наук
Горный институт

СТРАТЕГИЯ И ПРОЦЕССЫ ОСВОЕНИЯ ГЕОРЕСУРСОВ

*Материалы ежегодной научной сессии Горного института УрО РАН
по результатам НИР в 2004 году*

18-22 апреля 2005 г.

Пермь 2005

УДК 553 + 622.2
С 833

С 833 СТРАТЕГИЯ И ПРОЦЕССЫ ОСВОЕНИЯ ГЕОРЕСУРСОВ:

Материалы ежегодной науч. сессии Горного ин-та УрО РАН по результатам НИР в 2004 г. 18-22 апр. 2005 г. Пермь: Горный институт УрО РАН, 2005. 287 с.

Издание содержит материалы теоретических и экспериментальных исследований по широкому спектру проблем освоения георесурсов Российской Федерации и горного дела. Показаны важнейшие достижения научных подразделений института.

Главный редактор
чл.-корр. РАН А.Е. Красноштейн

Печатается по решению ученого совета Горного института УрО РАН

ГОРНОПРОМЫШЛЕННАЯ ГЕОЛОГИЯ И ГЕОЭКОЛОГИЯ

Б.М. Голубев

СТРОЕНИЕ И МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ СОЛЯНЫХ СТРУКТУР ВЕРХНЕКАМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ КЛЕСТОВСКОГО ПОДНЯТИЯ)

Соляная толща Верхнекамского месторождения калийных солей (ВКМКС) образует ряд брахиантиклинальных и куполовидных поднятий, сопряженных с брахисинклинальными и мульдообразными понижениями. Соляные поднятия вытянуты субмеридионально с некоторым отклонением на северо-запад или северо-восток. Длина поднятий от 7-10 до 26 км, ширина от 3-4 до 6-7 км. В поперечном сечении они асимметричны: западные крылья у них более крутые ($3-6^\circ$), чем восточные ($1-3^\circ$). Амплитуда соляных структур закономерно уменьшается в восточном направлении в сторону Урала от 300-350 до 30-50 м.

Формирование соляных структур ВКМКС А.А.Иванов связывает с проявлениями складкообразовательных движений, происходивших на Урале и Предуралье в предверхнепермское и послевеерхнепермское время [3]. Эта связь выражена «уральским» (северо-западным) простиранием соляных складчатых структур и их морфологическим сходством со складчатостью палеозойских отложений, развитых на западном склоне Урала.

По В.И.Копнину [4] современный тектонический план ВКМКС обусловлен пластическими деформациями среднего горизонта подстилающей каменной соли под влиянием неодинаковой нагрузки перекрывающих пород, предопределенной «соляными банками». То есть, согласно В.И.Копнину, в современном тектоническом строении месторождения проявилась тесная связь седиментационных образований и соляной тектоники.

Н.М.Джиноридзе [2] выдвинул тектоническую концепцию «продольного сжатия слоистых литифицированных соляных толщ», которая основана на субгоризонтальном одностороннем давлении с востока – со стороны Уральской складчатой области. По нашему мнению [1], соляные структуры, развитые на большей части площади ВКМКС – результат неравномерного перераспределения слоистой соляной толщи (оттока из одних участков и нагнетания на другие) при послойном односторонне направленном (с востока на запад) течении солей. Причиной односторонне направленного движения соляных масс является их гравитационное (под действием силы тяжести) течение по склону подсолевого ложа (восточному крылу Соликамской депрессии к ее приосевой линии).

Объективная оценка механизма формирования соляных структур зависит от того, насколько детально мы знаем их внутреннее строение и характер взаимоотношения с надсолевыми и подсолевыми отложениями. С этих позиций, далеко не все структуры изучены с необходимой детальностью. Как правило, из-за не вскрытия подошвы соляной толщи или вскрытия ее только отдельными скважинами не представлялось возможности установить влияние подсолевой тектоники на развитие соляных поднятий. Этот пробел в значительной степени восполняется за счет изучения материалов глубокого бурения на площадях месторождений нефти, открытых в пределах территории ВКМКС.

Примером тому служит Клевостовское соляное поднятие, изученное нами в 2004 г. по результатам бурения достаточно большого количества не только разведочных на калийные соли скважин, но и глубоких скважин Логовского месторождения нефти. Клевостовское поднятие, образуемое соляной толщей, расположено в центральной части ВКМКС. По соотношению длинной и короткой осей – это брахиантиклинальный купол, осложняющий северо-восточное окончание Соликамской антиклинальной структуры. Размеры его (по изогипсе минус 120 м кровли слоя МГ) составляют: протяженность 9,5 км, ширина 4-4,75 км, амплитуда 120-160 м (рис.1).

Соляная толща в ядре поднятия представлена только подстилающей каменной солью, мощность которой здесь равна 400-442 м, что в 1,4-1,6 раза превышает среднюю по ВКМКС (250-300 м). Остальная часть разреза соляной толщи, включающая верхи подстилающей каменной соли, калийную залежь и покровную каменную соль, на поднятии отсутствует. Она по представлениям большинства исследователей размывта в процессе подземного выщелачивания.

Клевостовское поднятие проявляется и по подошве соляной толщи. По этой поверхности устанавливается приподнятая зона, вытянутая в северо-восточном направлении согласно простиранию Логовской нефтеносной структуры и в общих чертах с ней совпадающая.

Сводовая часть Клевостовского поднятия по кровле слоя «МГ» относительно наиболее высокой части приподнятой зоны подошвы солей смещена в западном направлении более чем на 1 км.

Немаловажное значение с точки зрения расшифровки механизма формирования соляного поднятия имеют строение и условия залегания надсолевого комплекса отложений. Последний на площади Клевостовского поднятия отличается рядом существенных особенностей – это большая мощность четвертичных отложений (до 53,6 м), отсутствие пестроцветной толщи шешминского горизонта, а по многим скважинам и терригенно-карбонатной толщи соликамского горизонта или мощность последней уменьшена до 30,0-5,8 м. В соляно-мергельной толще по большинству скважин или вообще отсутствует переходная пачка, содержащая пласты каменной соли или же мощность последней не превышает 2,8-9,2 м. По ряду скважин мощность всей соляно-мергельной толщи уменьшена до 11,7 - 47,5 м. В основании комплекса имеет распространение глинисто-гипсовая шляпа.

Распространение и распределение по мощности толщ надсолевых пород контролируется структурным планом Клевостовского соляного поднятия.

Наибольшие мощности четвертичных отложений приурочены к сводовой и присводовым частям поднятия. Площадь увеличенной мощности четвертичных отложений в плане совпадает с зоной отсутствия терригенно-карбонатной толщи. Четвертичные отложения здесь ложатся непосредственно на породы соляно-мергельной толщи верхней, средней или нижней частей ее разреза (рис.2).

Приведенный материал по особенностям строения Клевостовского соляного поднятия позволяет уточнить существующие представления о механизме формирования соляных структур ВКМКС и представить его (на примере этого поднятия) в следующем виде:

1. Соляное поднятие формируется на приподнятом участке дна солеродного бассейна, наличие которого определяет структура облекания турнейско-фаменского рифогенного массива по кровле подсолевой глинисто-доломито-ангидритовой толщи.

2. Поднятие продолжает существовать в течение всего времени отложения соляной толщи.

3. Приток больших объемов опресняющих вод в конце Кунгурского века, связанный с трансгрессией моря с Восточно-европейской платформы, обусловил

не только прекращение существования Верхнекамского солеродного бассейна, но и размыв солей в своде поднятия. Размыву, предположительно, подверглись покровная каменная соль и верхние пласты сильвинито-карналлитовой пачки.

4. Растворенная соль в виде тяжелых, насыщенных по NaCl растворов дренирует в смежные с поднятием понижения. Это, в основном, Порошинская мульда Камского прогиба, расположенная к юго-западу от Клестовского поднятия, и Тверитинская мульда, расположенная от него к юго-востоку. В них накапливается мощная (до 100 м) соляная часть разреза соляно-мергельной толщи при общей ее мощности 120-140 м.

5. На поднятии отложения пластов солей в раннесоликамское время не происходило. В это время здесь накапливались лишь глинисто-мергелистые отложения и частично формировалась гипсово-глинистая шляпа.

6. После отложения терригенно-карбонатной толщи соликамского горизонта начинается регрессивный этап развития региона, характеризующийся воздыманием горных сооружений Урала и сменой прибрежно-морских условий осадконакопления на континентальные. Соответственно, и в тектоническом развитии Соликамской депрессии наступает новый этап формирования соляных структур ВКМКС.

7. Этот этап характеризуется ростом соляных поднятий, развитием подземного выщелачивания солей в их сводах и эрозией надсолевых отложений над ними.

8. Рост соляных поднятий происходит за счет нагнетания солей, движущихся под действием силы тяжести по склону подсолевого ложа. Активизирующее влияние на движение (течение) соляных масс оказали: увеличение угла наклона восточного крыла Соликамской впадины, в связи с воздыманием Уральской складчатой области, и субгоризонтальное давление с ее стороны при складчато-надвиговых дислокациях.

9. Выщелачивание (размыв) солей в сводах поднятий развивается с ростом последних и его масштабы определяются их амплитудой. Чем больше амплитуда соляного поднятия, тем большая мощность соляной толщи подвергается размыву. Размыв солей осуществляется подземными водными потоками, формирующимися за счет инфильтрации подземных и поверхностных вод к телу соляной залежи. Этому процессу во многом способствует интенсивная трещиноватость пород надсолевого комплекса, возникающая над соляными поднятиями при их росте.

10. Эрозия надсолевых отложений с образованием глубоких врезов (как это в случае с Клестовским поднятием) – есть результат деятельности поверхностных водотоков (палео-рек) в неоген-четвертичную эпоху. Приуроченность долин палео-рек к площади поднятия объясняется понижением земной поверхности в этом районе в связи с оседанием надсолевых толщ при растворении и выносе солей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голубев Б.М. О природе сил, обусловивших послыное течение солей и образование соляных структур Верхнекамского месторождения // Тр. ВНИГНИ, вып. 118. Пермь, 1973. С. 239-246.

2. Джиноридзе Н.М. Петротектонические основы безопасной эксплуатации Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей. С.-Пб-Соликамск, 2000. 400 с.

3. Иванов А.А., Воронова М.Л. Верхнекамское месторождение калийных солей (стратиграфия, минералогия и петрография, тектоника, генезис). Л., «Недра», 1975. 219 с.

4. Копнин В.И. Условия развития соляной тектоники Соликамской депрессии // Тр. ВНИГНИ, вып. 46, 1965. С. 121-129.

ПЕРСПЕКТИВЫ МАРГАНЦЕВОГО ОРУДЕНЕНИЯ КРЕМНИСТО-КАРБОНАТНОЙ ФОРМАЦИИ ВОСТОЧНОГО ОРЕНБУРЖЬЯ

Проведен сравнительный анализ между типичным представителем месторождений кремнисто-карбонатной марганценовой формации – Аккермановским и сходными с ним проявлениями Восточного Оренбуржья (Новоорской и Куруильской площадей).

Аkkerмановское месторождение является одним из перспективных марганценовых объектов в Оренбургской области. Оно приурочено к терригенно-карбонатным отложениям нижнего карбона Тубино-Гайской СФЗ, залегающим на вулканогенно-осадочной толще улутаусской свиты D_2 и принадлежит к числу осадочных месторождений марганценовой провинции, относящейся к мелководным кремнистым химическим осадкам турне-визе [3].

Продуктивным горизонтом на Аккермановском месторождении являются глинисто-карбонатно-кремнистые породы белоглинской свиты (C_1v_{2-3}), представленные переслаивающимися известково-кремнистыми, спонголитовыми, опоковидными породами, известняками, окремнелыми известняками, заключающими кремнисто-пиролюзитовые, пиролюзитовые, кремнисто-псиломелановые, тодорокитовые, гетит-пиролюзитовые и псиломелан-пиролюзитовые руды. Содержание MnO в среднем по месторождению составляет 14%. Руды представлены 2-мя типами: оксидными и карбонатными. Мощность пачки кремнистых оксидных руд в среднем 4,0 м, карбонатных пород – 27 м. Оксидные руды кремнисто-пиролюзитового и псиломелан-пиролюзитового состава образовались вследствие окисления в зоне гипергенеза марганценовых кремнисто-карбонатных первично-осадочных руд (Черкасов и др., 1995г.).

На месторождении широко развита кора выветривания, мощностью 10-40м. Наибольшая ее мощность (до 140-170м) наблюдается в участках проявления марганцевистых кремнисто-карбонатных пород и первичных руд. Именно в этих образованиях залегают богатые окисленные марганцевые руды [4].

Новоорская марганценовая площадь расположена на восточном склоне Южного Урала в приграничной зоне Центрально-Магнитогорской и Ащebutакской СФЗ.

Все рудопроявления здесь находятся в центральной и северной частях площади. Они группируются параллельно контакту средне-верхневизейских и визейско-серпуховских отложений, сложенных известняками, кремнистыми и кремнисто-глинистыми сланцами с линзами известняков, алевролитами и песчаниками. Причем в северной части площади марганцевое оруденение приурочено к терригенно-кремнистым породам, представленным аргиллитами, известняками и песчаниками кизильской свиты (C_1v_2-s), перекрытым кремнистыми (опоковидными) породами («Река Соленая», Бишкудук, Степное, Каменный Лог). А в центральной части марганцевое оруденение находится в обломках и конкрециях бурого железняка в элювиально-делювиальных высыпках пород кизильской свиты C_1ks (Кураинское I, Кураинское II, «Бухарсай», Будамшинское, Джананка). Более высокие концентрации марганца сосредоточены в кремнистых породах (до 38,87%), тогда как в элювиально-делювиальных высыпках пород кизильской свиты C_1ks содержание марганца значительно ниже (2,99%) [1].

Геологическая обстановка участков с марганцевым оруденением и условия взаимоотношений рудных тел с вмещающими породами дает основание считать, что эти проявления, первоначально содержащие незначительные концентрации марганца в составе породы, син-диагенетического происхождения, в дальнейшем трансформировались в результате инфильтрационных процессов в оксидные руды. (Н.В. Чадов, 1954г.).

Куруильская марганценосная площадь находится в восточной краевой части Западно-Уральской зоны складчатости - Курагано-Сакмарской СФЗ и, прослеживаясь в меридиональном направлении, ограничивается на севере границей Оренбургской области с Башкортостаном, а на юге - несколько севернее долины р. Урал.

Все известные пункты минерализации сосредоточены в северной части площади (Зиянчуринско-Чеботаревская группа) и отнесены к псиломелан-гидрогетитовому типу марганцевых проявлений. Они связаны с терригенно-карбонатными породами турне-визейского яруса $C_{1t_2-v_1}$, представленных кремнистыми сланцами, известняками, известковистыми алевролитами и песчаниками, мергелями, кремнями и кремнистыми яшмовидными породами с преобладанием известняков.

Марганцевое оруденение приурочено к углеродисто-глинистым сланцам, перекрытым кремнисто-карбонатными породами того же возраста, к окремненным (опоковидным) известнякам, залегающим среди вулканогенных пород нижнего карбона, представленных андезитовыми порфиритами, диабазами, ортофирами и различными пирокластами.

На данной площади выделяются три разновидности марганцевых руд: 1) коренные пластовые руды, представленные бедными марганцево-железо-карбонатными рудами; 2) конкреционные руды в аргиллитах; 3) сажистые рыхлые руды в делювиальных отложениях. Небольшие пласты образуют только руды первого типа, а руды второго и третьего типов встречаются спорадически в виде гнезд.

По химическому составу руды относятся к бедным марганцево-железным и кремнисто-карбонатным рудам. Среднее содержание марганца в рудах 5,0-5,7%.

Я.Я. Вецлер и А.Н. Тяжева считают происхождение марганцево-железистых руд первично-осадочным. Основанием для такого заключения им послужило преобладающее пластовое залегание руд, резкая ограниченность их от вмещающих пород и присутствие мелких марганцевых оолитов в рудах. Вместе с тем, наличие кремнистых образований, а также вулканогенных пород в стратиграфическом разрезе карбонатовых отложений данной площади может быть признаком отдаленной связи с вулканизмом [2].

В отличие от промышленно значимого Аккермановского месторождения кремнистые породы на Новоорской и Куруильской площадях проявлены в значительно меньшем объеме, хотя их присутствие позволяет также отнести проявления бассейна, расположенного западнее Восточно-Уральского поднятия к кремнисто-карбонатной марганценосной формации. Учитывая сравнительно слабую изученность проявлений марганца Куруильской и Новоорской площадей при определенном сходстве рудовмещающих пород, структурных особенностей, наличию кремнистых пород и окремненных известняков с Аккермановским месторождением можно полагать, что имеются реальные предпосылки для продолжения исследований этих объектов.

В связи с изменением экономической ситуации в России, существующие требования промышленности к месторождениям меняются: в разработку начина-

ют вовлекаться месторождения, которые ранее считались непригодными для промышленного освоения. Это возможно при внедрении техногенных способов переработки руд (кучное выщелачивание). В настоящее время затруднением применения этого метода является повышенные содержания кремнезема в рудах, однако начатые совместные разработки с кафедрами геологии и химии ОГУ по обогащению марганцевых руд с использованием методики растворения кремнистой составляющей методом выщелачивания. Внедрение такого метода позволит перевести целый ряд Оренбургских проявлений в разряд экономически рентабельных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабичева Н.Н. О марганценосности Новоорской площади // Региональная научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов. Сборник материалов. Часть 2. Оренбург, 2003.
2. Н.Н. Бабичева. О проявлениях Зиянчурино-Чеботаревского района Оренбургской области // Региональная научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов. Сборник материалов. Оренбург, 2004.
3. Бетехтин А.Г. Промышленные марганцевые руды СССР, 1946 .
4. Контарь Е.С. Условия размещения и история формирования месторождений меди, цинка, свинца на Урале. Екатеринбург, 2001. С. 66-69.

Н.П. Паршин

ОСОБЕННОСТИ РУДОНОСНЫХ КОМПЛЕКСОВ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЮЖНОГО УРАЛА

Особенности строения Южно-Уральского палеоокеана и его эволюционные стадии развития отражают длительный период формирования интрузивных, метаморфических, вулканических и осадочных пород от докембрийского до четвертичного возрастов, включительно. Анализ условий вулканической деятельности Южного Урала в целом, и Оренбургского Урала в частности, невозможен без детального изучения процессов геодинамического развития и геологического строения. Поэтому особенности рудоносных комплексов, характер вулканогенных формаций и их петро-геохимический состав особенно важны для понимания закономерностей размещения и условий локализации медно-колчеданного оруденения.

Восточное Оренбуржье, в современном плане, относится к Восточно-Магнитогорскому вулканическому поясу который, по мнению ряда исследователей (Зайков, 1991, Сурин, 1997, Зайков и др. 2002), совместно с Западно-Магнитогорским поясом представляли единую, но сложную островодужную систему и впоследствии (D_3-C_1) с заложением Южно-Башкирского внутридугового рифта были разобщены на два пояса.

Территория восточной части Оренбургского Урала включает вулканические комплексы ($D_1-D_2v_2$), а также вулканоплутонические комплексы связанные с более поздними этапами развития региона. В результате вулканизма, проявившегося в разных возрастных диапазонах и в геодинамических обстановках, происходило образование субмеридиональных структурных зон, таких как – Тубинско-Гайская, Орско-Мамбетовская, Ащебутакская, Домбаровская и Теренсайская, сшитых интрузиями коллизионных гранитов и перекрытых толщами вулканиче-

ских и вулcano-осадочных пород активной континентальной окраины этого микроконтинента. Необходимо подчеркнуть, что временная и пространственная эволюция вулканизма по разному проявилась в пределах выделенных зон. При детальном анализе эта эволюционная зависимость усматривается везде, как в направлении изменения режима вулканической деятельности, так и в направлении петрохимической дифференциации магматического материала. Особенно четко это просматривается в Тубинско-Гайском и Домбаровском рудных районах, где блоковые перемещения предопределили хорошую сохранность структурных зон в целом. В Ащebutакской зоне и в западной части Теренсайского рудного района фиксируются глубокоэрадируемые вулканические структуры и остатки вулканических построек базальт-андезит-липаритовой формации. Наряду с фрагментами вулканических сооружений, отмеченных в указанных зонах и их сохранность в отдельных блоках, на остальной части Оренбургского Урала прослеживаются слаборасчлененные вулканические зоны с относительно ненарушенным залеганием пород.

Проведенный анализ сопоставления разрезов выделенных зон, свидетельствует о принадлежности медно-колчеданного оруденения к трем основным структурным ярусам, имеющих устойчивое развитие в пределах островодужных террейнов.

Нижний колчеданосный ярус объединяет породы $D_1 - D_{2ef1}$ возраста. В его основании, обнажающегося в Кургано-Сакмарской зоне, широко развиты базальты, андезиты, дациты, туфогенные песчаники и рифогенные известняки (D_1) и перекрывающие их кремнистые сланцы, яшмоиды, гравелиты и конгломераты (D_2). В целом нижний ярус соответствует базальт-андезит-липаритовой формации натровой серии. Породы этой формации являются вмещающими для группы медно-цинк-колчеданных месторождений и проявлений Кипрского типа: Зимнее, Летнее, Осеннее, Аул-Куманское, Весенне-Аралчинское, Северо-Джусинское I-IV и др. Вмещающие вулканы (базальты $K_2O \leq 0.6\%$, липариты $K_2O \leq 0.6-1.0\%$) нижнего яруса отражают режим задуговых рифтовых бассейнов и имеет невысокую металлогеническую перспективу.

Средний колчеданосный ярус охватывает все структурно-формационные зоны, в возрастном диапазоне от среднего эйфеля до нижнего живета ($D_{2ef2-zv1}$) и по составу соответствует породам средней и кислой ассоциации. Породы среднего яруса хорошо картируются на флангах рудоносных структур и разделяются на нижнюю и верхнюю толщи. В нижней части разреза преобладают андезит-базальты, базальты, туфы базальтов, которые относятся к андезит-дацит-липаритовой субформации, а в верхней – андезит-дациты, дациты, риолиты, лавобрекчии и туфы смешанного состава, относящихся к андезит-дацитовой. Наиболее широко эта часть разреза представлена в Гайском и Домбаровском и в юго-западной части Теренсайского рудных полей. К этому ярусу приурочены медно-цинк-колчеданные руды Гайского и Джусинского месторождений и колчеданно-полиметаллические (Баймакского типа) – Барсучий Лог, Верхне-Будамшинское, Южно-Джусинское, Аномалия - I, 16 и др.

В целом базальт-андезит-дацит-липаритовая формация соответствует калинатровой серии (базальты $K_2O = 1\%$, липариты $K_2O = 1-2\%$) и характерны для зрелых островных дуг, заложенных на коре промежуточного типа.

Металлогеническая специализация определяется, в основном, как полиметаллическая, при варьирующих соотношениях Cu, Zn и Pb с запада на восток.

Верхний колчеданосный ярус (D_{2zv2}) характеризуется более широким спектром слагающих его пород. Помимо лав основного и кислого

состава – базальты, андезит-базальты, дациты, риодациты и трахидациты отмечаются прослои и линзы сланцев, известняков, туффитов, туффопесчаников и рифогенных известняков. Интенсивное развитие интрузивных комплексов верхнепалеозойской стадии способствовало резкой регенерации руд и формированию не характерных для колчеданных месторождений секущих рудных тел (месторождение Комсомольское и Блявинское), которые сопоставляются с натровой серией палеоукраинных рифтовых зон. В нижней части разряда присутствуют мелкие колчеданно-полиметаллические проявления – Аномалия - I, Гравианомалия - I, II.

Надрудная часть разреза колчеданных уровней представлена отложениями улугауской свиты (D_{2ul}) и ее аналогов, сложенных карбонатно-глинисто-терригенными формациями, соответствующие зоне континентального шельфа.

Формационная принадлежность рудовмещающих комплексов играет определенную роль в формировании и размещении колчеданного оруденения. Нами выделяются две формационные схемы, с которыми связаны все известные промышленные месторождения и проявления колчеданных руд.

1. Базальт-андезит-липаритовая формация ($D_1^3 - D_2$) и ее последовательно – дифференцированная базальтовая субформация ($D_1^3 - D_{2ef1}$) натровой серии. Отмечается сопоставимая генетическая связь колчеданного оруденения с формированием пород этой субформации – вулканитами основного состава: лаво-андезито-базальтов, горизонты порфирировых андезит-базальтов, их туффов и эксплозивных брекчий. Для этой субформации характерна медно-цинк-колчеданная ассоциация, с принадлежностью их к нижнему глубинному ярусу.

2. Базальт-андезит-дацит-липаритовая формация (D_2^{2-3}). В ее составе выделяются три субформации: андезит-дацит-липаритовая (D_{2ef2}), контрастная андезит-дацитовая (D_{2zv1}) и трахит-липарит-дацитовая ($D_{2zv2}-D_3 f_1$).

В андезит-дацит-липаритовой субформации, кроме присутствия преобладающих пород кислого и умеренно-кислого состава – андезит-дацитовые порфириты, лавы дацитов, риодацитов и туфобрекчий андезит-дацитов, прослеживаются породы среднего состава – подушечные лавы андезит-базальтов, их туфобрекчий и гиалокластиты. Данная субформация характеризуется колчеданно-полиметаллической ассоциацией.

Андезит-дацитовая субформация имеет фактическое обоснование во всех выделенных зонах, но рудоносной является только третья подтолща Ащевутакского и нижняя толща Теренсайского рудных районов. Эта субформация сопоставима с верхней толщей среднего колчеданоносного яруса. Для нее характерна калинатровая серия вулканитов среднего и кислого состава, а металлогеническая ассоциация определяется как медно-колчеданная.

Трахит-липарит-дацитовая субформация соответствует верхнему колчеданному ярусу, с преобладанием пород среднего и кислого состава натровой серии, с колчеданно-полиметаллической ассоциацией.

Основные черты химизма этих формаций имеют сходное строение. Содержание главных и сравнительно устойчивых компонентов в однотипных породах меняется от древних к молодым комплексам в сторону уменьшения содержаний Fe, Mg, Ti и увеличения количества Al_2O_3 и SiO_2 .

ЗОЛОТОЕ ОРУДЕНЕНИЕ РИФТОГЕННЫХ БАССЕЙНОВ ОРЕНБУРЖЬЯ

Одной из особенностей размещения золоторудных месторождений в Уральском регионе является их связь со структурами рифтогенного типа. Примером их являются раннепалеозойские черносланцевые формации Западного Предуралья, где известны многочисленные промышленные проявления золота, такие как Улюк-Бар, Рамеева жила, Горный прииск, Кургашлинское и др. [4]. Наряду с этими на Урале широко развиты линейные грабеновые структуры, распространенные в Восточно-Уральском и Восточно-Мугоджарском поднятиях, которые можно отнести к структурам рифтовидного типа. С ними связаны мелководные бассейны, ограниченные параллельными разломами, где в сравнительно теплых условиях шло накопление органического вещества, создававшего благоприятную восстановительную обстановку для отложения сульфидов и благородных металлов.

Ранее проведенными исследованиями на севере Восточно-Уральского поднятия в Кваркенской СФЗ, в пределах Кировского грабена, был изучен новый перспективный тип стратиформных вкрапленных руд в углеродисто-терригенно-сланцевых и углеродисто-терригенно-карбонатных толщах среднего ордовика и нижнего карбона соответственно. Были разработаны номенклатура их пород, литостратиграфия и золотоносность [1,2,3].

Позже эти исследования были продолжены и направлены на изучение подобных образований в южной половине Восточно-Уральского поднятия на площадях развития Аниховского и Старо-Карабутакского грабенов.

Аниховский и Старо-Карабутакский грабены являются структурами второго порядка. Первый расположен в южной части Восточно-Уральского поднятия, а второй находится в пределах Восточно-Мугоджарской структурно-формационной зоны на южном продолжении Аниховского грабена.

Оба грабена приурочены к одному крупному тектоническому шву, обладая общностью в механизме и времени образования.

Аниховский грабен протягивается в север-северо-восточном направлении. С востока он ограничен зоной Восточно-Аниховских, а с запада Западно-Аниховских разломов. Слагающие грабен породы ранне- и поздне- палеозойского возраста смяты в довольно крупную Такашинскую антиклиналь длиной более 30 км при ширине 7 км.

Старо-Карабутакский грабен протягивается в субмеридиональном направлении более чем на 200 км. На рассматриваемой площади представляет собой оперяющую структуру, ответвляющуюся к северо-западу от Восточно-Мугоджарского разлома. Грабен выполнен раннепалеозойскими, нижнекаменноугольными и пермскими отложениями, имеющими между собой тектонические границы (В.А.Болдырев и др.). Оба грабена характеризуются развитием в них разрывных нарушений нескольких направлений и различной природы. Наиболее хорошо в их структуре проявлены нарушения субмеридионального и северо-западного направления, и субвертикального падения, являющиеся рудоконтралирующими и рудолокализирующими. К субмеридиональным относятся ограничивающие оба грабена с востока Восточно-Аниховский и Восточно-Мугоджарский разломы и параллельные им разрывы внутренней части грабенов. Нарушения северо-западного направления преобладают в северных частях обоих грабенов и по своей природе являются сбросами (В.А.Болдырев и др.). Прочие разломы (северо-восточные и субширотные) являются более поздними и смещают их.

Рудовмещающие отложения, выполняющие эти структуры, представлены породами раннепалеозойского и нижнекаменноугольного возраста.

Раннепалеозойские образования отмечаются только в пределах Старо-Карабутацкого грабена и представлены шебектинской (O₂ sb) и балаталдыкской (O₂ bl) толщами.

Шебектинская толща имеет широкое распространение и представлена двумя подтолщами.

Нижняя подтолща – вулканогенно-осадочная (400-600м) - сложена кварцевыми песчаниками, кварц-серицитовыми, кварц-хлоритовыми, серицит-кварцевыми сланцами и эффузивами основного состава.

Верхняя подтолща – углеродисто-терригенно-сланцевая (300-600 м)- состоит из перемежающихся кварцевых песчаников и углисто-глинистых, серицит-кварцевых и кварц-серицитовых сланцев. В кровле ее разреза отмечаются вулканиты основного состава.

Отложения балаталдыкской толщи развиты на востоке Старо-Карабутацкого грабена. Встречаются в виде крупных тектонических блоков. Представлены конгломератами, кварцевыми песчаниками и углеродистыми филлитовидными сланцами. Мощность до 600 м.

Группой исследователей (Абдуллин и др. 1967, 1969; Кориневский и др. 1972; Миловский и др. 1977) возраст этих отложений считается как раннепалеозойский и даже кембрийский.

На основании близкого литологического сходства и степени метаморфизма этих образований с породами новооренбургской толщи среднего ордовика Кваркенской СФЗ (развитых в пределах Кировского грабена), отложения шебектинской и балаталдыкской толщ условно отнесены авторами статьи к среднему ордовику.

Нижнекаменноугольные отложения (C₁t₂-s) представлены углеродисто-терригенно-карбонатной толщей, аналогичной таковой в Кировском грабене в Кваркенской СФЗ. Она складывается двумя подтолщами: нижней - песчано-гравелито-сланцевой (250-400 м) и верхней - известняково-сланцевой (300-350 м).

Нижняя подтолща в Старо-Карабутацком грабене представлена конгломератами, песчаниками, углистыми полевошпатово-кварцевыми алевролитами, углисто-глинистыми сланцами с прослоями в верхней части разреза вулканитов кислого и основного состава. В Аниховском грабене в её разрезе резко сокращаются (почти до полного исчезновения) вулканогенные породы и возрастает роль терригенно-сланцевых образований.

Верхняя подтолща в Старо-Карабутацком грабене представлена алевролитами и углисто-графитистым сланцам, с подчиненными прослоями (в основании) гравелитов и конгломератов. В верхней части ее разреза фиксируются многочисленные горизонты мраморизованных известняков. Мощность осадков 300 м. В Аниховском грабене мощность отложений увеличивается до 350 м. Возрастает роль карбонатных образований, которые фиксируются также в нижней и средней частях ее разреза; в верхней части подтолщи появляются прослои туфогенных образований.

Исследуемые золотоносные отложения, связанные с мелководными бассейнами, формировались в зонах локального кратковременного растяжения в среднеордовикское и нижнекаменноугольное время. Участки золотого оруденения приурочены к грабенообразным структурам рифтовидного типа и закономерно прослеживаются вдоль так называемой «*Гранитной оси Урала*», протягивающейся от Светлинского месторождения в Челябинской области до Мугоджар Казахстана.

Анализируя характер распределения сингенетичной золотой минерализации в этих образованиях следует отметить, что значительные концентрации золота в 10 и более раз превышающие кларк фиксируются в углеродистых алевролитах и углеродистых филлитовидных сланцах (средние содержания в них благородного металла 0,07-0,08 г/т, при максимумах 0,2-0,3 г/т) и приурочены к разрезам ниж-

них подтолщ рассматриваемых среднеордовских и нижнекаменноугольных отложений. При этом в них повсеместно отмечаются очень высокие содержания углеродистого вещества достигающие 7-9%.

Максимальные концентрации благородного металла (до 1г/т) характерны для метасоматически измененных пород и жильных кварцев. При этом повсеместно отмечается закономерность, чем выше золотоносность вмещающих пород, тем больше она в метасоматитах и кварцевых образованиях. Рудные точки и зоны минерализации до 1г/т и выше находятся в зонах пересечения меридиональных, северо-западных и северо-восточных разрывов.

Главная же масса золотапроявлений промышленного масштаба развита в пределах Кумакского рудного поля где они приурочены к нижней подтолще углеродисто-терригенно-карбонатной толщи ($C_1 t_2s$). Эта группа золоторудных проявлений является типичным представителем месторождений золота прожилково-вкрапленного типа в черносланцевых толщах. В Аниховском грабене в пределах рудного поля выделяются (по В.А.Болдыреву и др. 1980) 4 типа золотоносных тел:

1.-простые жилы; 2.-сближенные жилы или серии жил; 3.-жильные зоны; 4.-минерализованные зоны смятия и рассланцевания. Содержания золота в отдельных минерализованных зонах достигает 8-15 г/т (5).

Почти все промышленное оруденение локализуется внутри минерализованных зон смятия или в близи них. Простираение основной минерализованной зоны субмеридиональное, а падение почти вертикальное. Метасоматическая проработка основной зоны представлена окварцеванием, серицитизацией хлоритизацией, пиритизацией и турмалинизацией. «Основными рудоносными структурами Кумакского рудного поля является две меридиональные зоны Восточно-Аниховских разломов, в которые внедрились кварцевые жилы и где интенсивно проявился приразломный метаморфизм, метасоматоз и орогенез» (Болдырев В.Б. и др., 1980).

Четкая стратифицированность золотого оруденения в литологических разрезах и их тектоническая позиция указывает на возможность расширения направления поисков золоторудных месторождений на площади Восточно-Уральского поднятия и прелагающих к нему территорий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лощинин В.П., Панкратьев П.В., Хасанов В.Н. Золоторудные месторождения в углеродисто-терригенных формациях Оренбургской области и их перспективная оценка. В сб. «Моделирование стратегии и процессов освоения георесурсов. Материалы международной конференции и научной сессии горного института УрОРАН». – Пермь, 2003, - с.216-219.

2. Панкратьев П.В., Лощинин В.П. Особенности и перспективы стратиформного колчеданного, золотого и марганцевого оруденения. Горное эхо. Вестник Горного института УрОРАН.- Екатеринбург, 2003, № 3.-с.26-30.

3. Панкратьев П.В., Лощинин В.П. О золотоносности среднеордовских углеродистых терригенно-кремнистых отложений новооренбургской свиты Восточного Оренбуржья. В сб. «Металлогения древних и современных океанов – 2003».- Миасс,-2003, с.165-168.

4. Сазонов В.Н., Огородников В.Н., Коротеев В.А., Поленов Ю.А. Месторождения золота Урала.-Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 1999.-570 с.

5. Чаплыгина И.С. О перспективах Джусинской зоны (Восточные Мугоджары) на золотое оруденение. В сб. «Металлогения древних и современных океанов – 2003». Миасс – 2003, с.298-299.

ГЕОХИМИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА БОКСИТОНОСНЫХ ФОРМАЦИЙ СУБРА

Образование бокситов идет при активном участии органического вещества (ОВ), геохимические характеристики которого отражают геологическую историю формирования месторождений [1]. В связи с этим были проведены детальные исследования состава битумоидов (ХБА) девонских бокситоносных формаций Североуральского бокситового района (СУБР) с применением современных физико-химических методов анализа.

ОВ бокситовой руды. Органика бокситов носит преимущественно ароматический характер, доля которой в составе углеводородной фракции битумоидов превышает 90%. В составе ароматики идентифицированы карбоциклические и гетероциклические голаядерные и замещенные моноциклические и полициклические структуры.

Моноароматические структуры представлены растительными остатками фенилпропанового ряда, которые являются основным элементом лигнина. Фенилпропановые структуры практически не содержат метоксильных радикалов, что соответствует лигнину низших сосудистых растений. Большая часть фенилпропановых структур обогащена аминной группой, присоединенной к пропильному радикалу. Фениламинопропановые структуры можно рассматривать как первичные, унаследованные от исходной растительности (например, фенилаланина, тирозина). Однако более достоверны преобразования лигнина и белков в захороненном состоянии и, возможно, не без участия липидного материала перекрывающих известняков. Образование лигнино-белковых структур описывали С.М. Манская и Т.В. Дроздова, отмечая высокую стабильность и способность длительно сохраняться в породах в процессе их литогенеза [2]. Не меньшую способность сохраняться в определенных фациальных условиях демонстрируют и сами белковые вещества, чему, безусловно, способствует присутствие фенольных антиоксидантов. В бокситах изобильно представлены L-аминокислоты и их производные: аланан, лизин, тирамин, тироксин, гистидин, адреналин и т.д., являющиеся фрагментами как растительных, так и животных белков.

Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) представлены голаядерными или монометилзамещенными антраценами, фенантренами, флуорантенами, пиренами и хризенами, генезис которых, как правило, связывают с эндогенным синтезом [3]. В пользу эндогенного синтеза свидетельствует факт отсутствия в бокситах изопреноидных структур, являющихся наиболее вероятным исходным материалом для синтеза ПАУ в осадочных породах. Судя по набору структур, представленных конденсированными голыми ядрами, они являются продуктом поликонденсации простых соединений углерода (CH_4 , C_2H_6 , C_2H_4 и т.д.) на алюмосиликатных катализаторах при температурах более 400°C [4]. Однако, помимо эндогенных углеводородов (УВ), в образце руды идентифицированы полициклические структуры, унаследованные от живого вещества. Это прежде всего фенантреновые спирты, оксосоединения, кислоты, сложные эфиры, фенантридины, имины и амины. Часть фенантреновых скелетов представлена стероидами (аминопрегненолы, диаминопрегнены).

Гетероциклическая ароматика представлена веществами, широко распространенными в животном и растительном мире: фуранами, пиранами, имидазолами, пиридинами, изохинолинами. Необходимо отметить, что часть этих соединений сохранилась в практически неизменном виде – например, токоферолы, основным структурным элементом которых является бензпирановый скелет или аминокислоты, содержащие имидазольный, пиридиновый или индольный скелеты. Пятичленные гетероциклы (пиррол, фуран), являющиеся основой пигментов и углеводов, напротив, входят в состав сложных молекул (карбазолы, бензонафтофураны), образование которых, скорее всего, связано с влиянием эндогенного фактора.

Интересная информация о геохимическом облике ОВ бокситов была получена при обработке руды водой. В водной вытяжке руды идентифицированы алифатические кислоты и их производные ряда C_4-C_{18} (9,6% углеводородной фракции), роль которых в образовании бокситов связана со способностью к выносу глинозема при выщелачивании основных пород [5]. Монокарбоновые насыщенные кислоты представлены соединениями животного (пальмитиновая) и растительного (стеариновая) происхождения. Поликарбоновые кислоты представлены производными янтарной и лимонной кислот, которые являются продуктами глиоксилатного цикла при распаде растительных жиров. Ароматические кислоты представлены эфирами фталевой кислоты (65,9% фракции), которые, по-видимому, являются наиболее стабильной формой существования нафталина в битумоидах рассеянного ОВ. Сам нафталин не отличается особой физико-химической стабильностью при метаморфизме, что, скорее всего, и объясняет его отсутствие в полном гомологическом ряду аренов от бензола до хризена.

Таким образом, ОВ бокситов представляет собой эклектичную смесь, в которой одновременно присутствуют соединения, унаследованные от живого вещества, и ПАУ, практически отсутствующие в живой материи, что позволяет предположить два источника их образования, разделенные в геологическом масштабе времени.

ОВ вмещающих пород. Вмещающие породы представлены известняками, иногда битуминозными, сланцами и в меньшей степени порфиритами и андезитобазальтами. Битуминозные известняки доманиковой фации, обогащенные ОВ, отличаются алифатическим характером, без признаков окисления. Алифатические УВ состава $C_{11}-C_{31}$, представлены преимущественно короткими четными гомологами, что говорит о сапропелевом типе ОВ и восстановительных фациальных условиях [6]. Восстановительные условия подтверждает и состав водных вытяжек известняков, в которых на долю сульфидной или элементарной серы приходится более 50% фракции. Сульфидная сера представлена алифатическими тиолами, сульфидами, сульфокислотами, среди которых выделяется группа полисульфидов. Эти соединения интересны тем, что все атомы водорода алкильных радикалов замещены на фтор ($C_6F_{14}S_2$, $C_6F_{14}S_3$, $C_2F_6S_5$), что может быть объяснено только влиянием эндогенного фактора.

Известняково-глинистые сланцы, залегающие в кровле бокситоносных формаций, являются высокобитуминозными (2 г/кг), с явными следами метаморфизма: в составе битумоидов преобладает смолисто-асфальтеновая фракция (около 80 %); рецессивная углеводородная фракция слабоокислена и представлена нефтено-ароматическими структурами. Ароматика сланцев достаточно близка по составу ароматическим соединениям бокситовой руды.

Однако, наряду с полностью конденсированными структурами, присутствуют соединения с изолированными бензольными ядрами – дифенилы, терфенилы, трифенилметаны, бензилдифенилы, бинафталины. Образование подобных структур можно связывать с термическим воздействием интрузий на ОВ вмещающих пород, приводящим к преобразованиям бензола и его алкильных гомологов (в том числе и фенилпропановых, являющихся структурной единицей лигнина). Поскольку лигниновый материал ОВ сланцев представлен единичными фрагментами, можно предположить, что ПАУ с изолированными бензольными ядрами внесены из нижележащих бокситов при гидротермальных процессах. О взаимосвязи ОВ в системе «бокситы – сланцы» свидетельствует и присутствие в сланцах элементоорганических соединений алюминия (трипропилалюминий) и фосфора. Органика, содержащая фосфор, позволяет проследить и взаимосвязь ОВ в ряду бокситы – сланцы – известняки и изменение его состава под влиянием вторичных эндогенных процессов. Фосфорорганические соединения бокситов представлены фосфинами и фосфоринами, абиогенный синтез которых может быть обусловлен метаморфическими процессами с использованием элементарного фосфора, содержание которого достигает 9,0 г/кг. В сланцах с содержанием фосфора 1,8 г/кг; присутствуют уже биогенные фосфаты: алифатические, особенностью строения которых является частичная замена водорода радикалов на хлор, и ароматические, содержащие фенольные радикалы. В битуминозном известняке, не содержащем элементарного фосфора, идентифицированы трифенилфосфаты, присутствующие в сланцах, и алифатические фосфонаты, являющиеся гидрированными производными фосфинов.

Набор гетероциклической ароматики также достаточно близок к ОВ бокситовой руды, но более сложен и разнообразен. Большая часть молекул гетероциклов содержит не один, а два, три и более гетероатома (O, N, S, Hal). Из интересных фактов отметим присутствие гетерологического ряда флуорена: флуорен $C_{13}H_{10}$, дибензофуран $C_{12}H_8O$, дибензотиофен $C_{12}H_8S$, карбозол $C_{12}H_8NH$. Флуорен является типоморфным соединением ассоциации ПАУ вулканического генезиса.

Отличительной чертой ОВ сланцев является большое разнообразие сераорганических соединений (тиоцианаты, сульфиды, тиолы, тиазолы) и элементарной серы, количество которой в углеводородной фракции битумоидов сланцев составляет более 20%. Сераорганические соединения сланцев явно взаимосвязаны с битуминозными известняками, серусодержащие структуры которых отличаются высокой подвижностью и являются основным компонентом выщелачиваемых комплексов (более 50% фракции). Сераорганические соединения сланцев, связанные смолисто-асфальтовыми комплексами, напротив, малоподвижны и в водную фазу практически не переходят. Нижележащие бокситы содержат еще меньше сераорганических ОВ (0,6% фракции), представленных преимущественно эндогенными бензонафтотиофеном и серой элементарной (2,3% фракции).

Углеродистое вещество. Представлено жильными проявлениями битумов в локальных зонах тектонической трещиноватости бокситовых руд, где зафиксировано проявление гидротермальных процессов [7]. Содержание битуминозных веществ составляет 26,7 г/кг, УВ – 5,0 г/кг. Исследования состава углеводородной фракции ХБА показали, что термальные воды явились своеобразным аккумулятором подвижной органики бокситов: те же фенилпропановые и фениламинопропановые фрагменты лигнино-белковой природы, аминокислотные структуры, одна-

ко, более преобразованные. Конденсированные ПАУ менее подвижны при действии термальных вод, поэтому в углеродистом веществе представлены только замещенные и частично гидрированные антрацены и фенантеры. А вот гетероциклическая ароматика - флуоксетин, нортриптилин, десметилдоксепин, скорее всего, образовалась в результате гидротермального воздействия на биогенные гетероциклы бокситов.

Выводы.

ОВ бокситоносных формаций СУБРа носит сложный гетерогенный характер, обусловленный разнообразием геолого-геохимических факторов, влиявших на их формирование. Анализ данных химико-аналитических исследований позволяет выделить три группы ОВ:

а) ароматическое ОВ бокситовой руды, представленное сингенетичным растительно-белковым материалом гумусово-сапропелевого типа и эпигенетичными ПАУ, эндогенный синтез которых связан с гетерогенно-каталитической конденсацией простых соединений углерода;

б) нафтно-ароматическое ОВ известняково-глинистых сланцев, представленное сингенетичным белково-растительным материалом сапропелевого-гумусового типа и эпигенетичными ПАУ, эндогенный синтез которых связан с гетерогенно-каталитической конденсацией бензольных структур;

в) алифатическое серное ОВ битуминозных известняков, представленное сингенетичным липидным материалом морского генезиса.

Необходимо отметить, что независимо от выделенных генетических типов ОВ бокситов и вмещающих отложений, все они в той или иной мере несут следы значительного преобразования под воздействием метаморфических и гидротермальных процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бгатов В.И. Кора выветривания и бокситы (материалы к химико-биологической теории бокситообразования) // Бокситоносные формации Сибири и Дальнего Востока. Новосибирск, 1972. С. 6-34.
2. Манская С.М., Дроздова Т.В. Геохимия органического вещества. М.: Наука, 1964. 315 с.
3. Углеродистое вещество в метаморфических и гидротермальных породах / Д.Х. Мартихаева, В.А. Макрыкина, А.Е. Воронцов, Э.А. Развозжаева. Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «ГЕО», 2001. 127 с.
4. Геохимия полициклических ароматических углеводородов в горных породах и почвах / А.Н. Геннадиев, Ю.И. Пиковский. М.: Изд-во МГУ, 1996. 192 с.
5. Кривцов А.И. Мезозойские и кайнозойские бокситы СССР, их генезис и промышленное значение. Ч.1. М.: Недра, 1968. 365 с.
6. Ильинская В.В. Генетическая связь углеводородов органического вещества пород и нефтей. М.: Недра, 1985. 160 с.
7. Гуткин Е.С. Геология и геохимия девонских бокситов Северного Урала. М.: Недра, 1978. 238 с.

ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ ВОДОНОСНОСТИ ПОРОД В ЗОНЕ ЗАТРУДНЕННОГО ВОДООБМЕНА ЮГО-ВОСТОКА ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

В планетарном масштабе земная кора не является закрытой изолированной системой. Каменная оболочка связана с глубокими недрами тысячами глубинных разломов и по ним выносятся тепло, газообразные продукты, вода. Платформенные блоки земной коры, в том числе Восточно-Европейской платформы, характеризующиеся в последние 50-60 млн. лет тектонической стабильностью, в зоне затрудненного водообмена формируют разнообразные типы подземных вод. Это трещинно-жильные напорные воды фундамента, гидравлически связанные с водоносными комплексами осадочного чехла или изолированные от них водоупорными толщами и вся система подземных вод, находящиеся в относительном термодинамическом и гидрогеохимическом равновесии. Но водонапорные системы внутриплитных осадочных бассейнов юго-востока России, в том числе Оренбуржья, уже более полувека испытывают геотехногенное воздействие: пробурено большое число глубоких и сверхглубоких скважин, извлечены гигантские объемы и массы газовых и жидких углеводородов, промышленных и попутных пластовых вод, построены подземные резервуары методом выщелачивания в толщах каменной соли, проведены подземные взрывы для создания емкостей и изучения глубинного строения земной коры. Добываемые при разработке месторождений нефти и газа попутные пластовые рассолы, относящиеся по классификации к промышленным водам, а также промстоки закачиваются в продуктивные пласты для поддержания пластовых давлений или в глубокие водоносные горизонты на глубину 2.5 – 3.0 километра и более в контуре нефтегазоносности. Так только на территории платформенного Оренбуржья эксплуатируется 219 месторождений нефти, где добычу нефти планируется довести до 16 млн. т. в год и более и разрабатывается 16 месторождений газа и конденсата, из которых добывается около 20 млрд. м³ газа и около 200 тыс. т. конденсата. Кроме того, эксплуатируется 10 хранилищ метанола, нефти, природного газа, гелия, 8 полигонов (установок) по закачке промстоков. Пробурено несколько тысяч поисковых, разведочных и эксплуатационных скважин, в том числе сверхглубокие более 6000 м (Каинсайская-1). Поэтому оценка геоэкологических последствий техногенного вторжения в толщи водоносных пород зоны замедленного водообмена актуальна, как в плане теоретического обоснования возможных преобразований водонапорных систем нижнего гидрогеодинамического этажа, так и для экспериментальных наблюдений за этими изменениями и организации предупредительных мер по сохранению качества вод зоны активного водообмена.

Формирование вод зоны замедленного водообмена имеет длительную историю. Так на рубеже рифея и венда в результате байкальского цикла складчатости, около 700 млн. лет назад, здесь устанавливается континентальный режим. Но затем западнее территории исследований закладывается обширная синеклиза. Море трансгрессирует со стороны Уральской геосинклинали и Прикаспийской синеклизы до Балтийского щита. Морской бассейн был мелководным, климат умеренный. В венде отмечается частая смена трансгрессий и регрессий, что отмечается сменой прибрежно-морских, мелководно-морских условий осадконакопления периодами площадной эрозии. Исследования водоносности пород кристаллического фундамента на рассматриваемой территории не проводились. Водоносность рифей-вендских пород изучена к настоящему времени недостаточно. В кембрийский период на рассматриваемой территории устанавливается континентальный режим, и земная поверхность подверглась интенсивной денудации. В ордовикско-раннедевонский отрезок времени формировались преимущественно инфильтрогенные

пресные и, вероятно, слабосоленые подземные воды континентального генезиса. Пластовые воды в терригенных толщах ордовика и силура вскрыты на глубине от 2247 до 3000 м и более. Они представлены порово-трещинно-пластовыми крепкими рассолами хлоридного кальциево-натриево-магниевого состава с минерализацией до 150-188,5 г/кг. Водорастворенные газы в основном метаново-азотные. Со среднего девона и до конца раннепермской эпохи происходило формирование соленых седиментогенных хлоридных подземных вод морского генезиса в карбонатных и терригенно-карбонатных отложениях. Скопления порово-трещинно-пластовых крепких рассолов в терригенных глинисто-песчаных породах девонской системы имеют хлоридный натриево-кальциевый состав с минерализацией от 170,0 до 225 г/кг. Растворенные газы преимущественно азотные и реже метановые. Дебиты скважин при понижении уровня до 226-305 м не превышают 40-50 м³/час. В связи с неустойчивым тектоническим режимом и выходом карбонатных пород на дневную поверхность в турне, визе, серпуховский, башкирский, московский века, в позднем карбоне и ранней перми происходила смена седиментогенных вод в верхних частях разреза инфильтрогенными, и развивались карстовые процессы до глубин эрозионных врезов. Циклически повторяющаяся тектоническая активность развивающейся территории вела к развитию трещиноватости в карстовых интервалах разреза или ее восстановлению и усилению. Эти трещинно-поровые пространства впоследствии заполнили скопления нефти, газа и конденсата.

Каменноугольные отложения характеризуются порово-трещинно-пластовыми скоплениями крепких рассолов. Водоносность пород по разрезу и по простиранию меняется в широких пределах – от 1,5-3,6 м³/сут до 30-120 м³/сут. Воды по химическому составу хлоридные натриевые, натриево-кальциевые и реже натриево-магниевые. Минерализация их изменяется от 190,0 до 235 г/кг. Состав водорастворенных газов преимущественно азотно-метановый, сероводородно-метановый и азотный. С каменноугольными отложениями связаны поглощения промывочной жидкости от 2-3 до 40-60 м³/час.

Нижнепермские образования ассельского, сакмарского и артинского ярусов содержат порово-трещинно-пластовые хлоридные натриевые, натриево-кальциевые и реже хлоридные натриево-магниевые крепкие рассолы с минерализацией 190-260 г/кг. Эти воды часто содержат высокие концентрации калия. Газы преимущественно азотно-метановые и сероводородно-метановые. Водоотдача пород низкая – от 0,2 до 0,5 м³/сут, но отмечаются интервалы с катастрофическими поглощениями бурового раствора.

В кунгурский век накапливалась солеродная рапа в сульфатно-галогенных толщах. В процессе погружения, уплотнения и литификации сульфатно-галогенных толщ часть рапы выдавливалась в поверхностные водоемы, а в конце раннепермской эпохи большая часть весьма крепких рассолов иренских толщ мигрировала в нижележащие слои перми, карбона и девона. Межпластовые скопления рапы в сульфатно-галогенной толще кунгура сохранились до настоящего времени в прослоях трещиноватых ангидритов и доломитов. Линзы крепких и весьма крепких рассолов имеют хлоридный натриево-магниевый и магниевый состав и минерализацию до 260-300 г/кг. Отмечаются высокие до 2,0-4,0 г/кг концентрации брома и до 16-37 г/кг калия. Газовый состав рассолов азотно-метановый. Воды напорные и переливают при вскрытии с дебитом от 1,3 до 400 м³/час.

Последствия масштабного техногенного внедрения в природные гидрогеосистемы одни исследователи с техногенным воздействием на структуру порово-трещинных блоков осадочного чехла и кристаллического фундамента, с гидрогеохимическими преобразованиями сложных многофазных систем, другие квалифицируют эти явления как предвестники геотехногенных аварий и катастроф. При научном анализе геоэкологических проблем, связанных с эксплуатацией недр мы отмечаем проблематичную роль отдельных факторов:

1. Роль фактора геологического времени остается по существу недостаточно изученной и в выводах и прогнозах не учитывается;
2. Процессы физико-химических равновесий, фазовых состояний в прискважинном пространстве нарушенного блока горных пород остаются недостаточно изученными;
3. Ведущееся изучение микросейсм или динамики упругих деформаций в районе Оренбургского НГКМ и выделение техногенной составляющей позволит уточнить роль нефтегазодобычи в возможном преобразовании скелета водоносных пород и динамического режима водонапорных систем.

Ю.М. Нестеренко

О СВЯЗИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД НИЖНЕГО И ВЕРХНЕГО ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ЭТАЖЕЙ НА ЮЖНОМ УРАЛЕ

В настоящее время существуют две противоположные точки зрения о движении глубинных вод. В соответствии с первой, вода движется по подземным толщам от более высоких отметок к более низким и питание подземных вод осуществляется в пределах горно-складчатых территорий или по периферии артезианских бассейнов, откуда подземные воды движутся к областям дренирования – крупным речным долинам, понижениям больших и глубоких озер, к морям и океанам, проникая на глубины в несколько километров (Корценштейн, 1977). Вторая точка зрения исключает практическое воздействие окраин артезианских бассейнов на движение глубинных вод и в них преобладает вертикальный водообмен. (Вагин, 1971; Карцев, 1980; Дюнин, 2000).

Рассматривая обе точки зрения на движение глубинных вод, видимо надо признать, что в природе нет гидрогеодинамических систем, работающих только по одному из вышеназванных принципов водообмена. Гидрогеологические закономерности районов нефтегазодобычи могут быть установлены более полно, если глубоко залегающие водонапорные системы рассматривать как часть общей водонапорной системы, включая области питания, межпластовый переток, сток и разгрузку.

Сложившиеся классические представления в гидрогеологии о положении в пространстве и соотношении областей питания, транзита и разгрузки глубинных вод часто противоречат фактическим данным. Ряд исследователей (Дюнин, 2000 и др.) убедительно обосновывают приоритетность вертикальной миграции глубинных вод и локальность латеральных перемещений водных масс по значительной разнице вертикальных и горизонтальных напоров. Но при этом по нашему мнению необходимо учитывать коэффициенты фильтрации водоносных горизонтов, определяющих скорость латеральных миграций водных масс, и коэффициенты фильтрации выше и ниже расположенных условных водоупоров, у которых они часто в десятки, сотни и тысячи раз меньше, чем у водоносных горизонтов часто при значительных градиентах напоров, ускоряющих перетоки.

В районе Оренбургского нефтегазоконденсатного месторождения гидрогеологи выделяют два этажа подземных вод. Пьезометрическая поверхность подземных вод верхнего этажа располагается, как правило, выше местных базисов эрозии и в основном повторяет рельеф. Глубины эрозионных врезов достигают 50-80 метров. Разгрузка подземных вод происходит в долины р.р. Урал, Сакмара, Самара и их притоков. Подземные воды нижнего этажа залегают под толщей каменной соли. Мощность водоупорной толщи, отделяющей верхний этаж от нижнего, на территории Оренбуржья изменяется от 200 до 1200 м. Ряд гидрогеологов придерживаются мнения об отсутствии гидравлической связи между ними.

С целью выявления наличия или отсутствия вертикальной гидравлической связи вод подсолевого комплекса с водами верхнего этажа в районе онгкм и прилегающих к нему территорий нами сделана попытка определения зависимости абсолютных гидростатических давлений от глубины залегания водоносных горизонтов с учетом средневзвешенного удельного веса выше расположенной толщи вод на различном расстоянии от онгкм до его разработки.

К исследованию мощности комплексов подземных вод от 1-го от поверхности водоносного горизонта на отметке межженного уреза основных рек исследуемой территории до глубины 3 км на различных расстояниях от ОНГКМ. К исследованию приняты примыкающие к нему с севера, запада и востока территории:

1. ОНГКМ с межженным урезом р. Урал на абсолютной отметке 73-80 м;
2. На расстоянии 0-50 км от ОНГКМ с межженным урезом р. Самара (пгт Новосергиевка) на отметке 130 м и р. Урал 102 м;
3. На расстоянии 50-100 км с отметкой уреза воды в р. Самара 120 м, р. Сакмаре 130 м и р. Урал 120 м;
4. На расстоянии более 100 км с урезом воды в р. Самара 92 м и р. Урал 136 м.

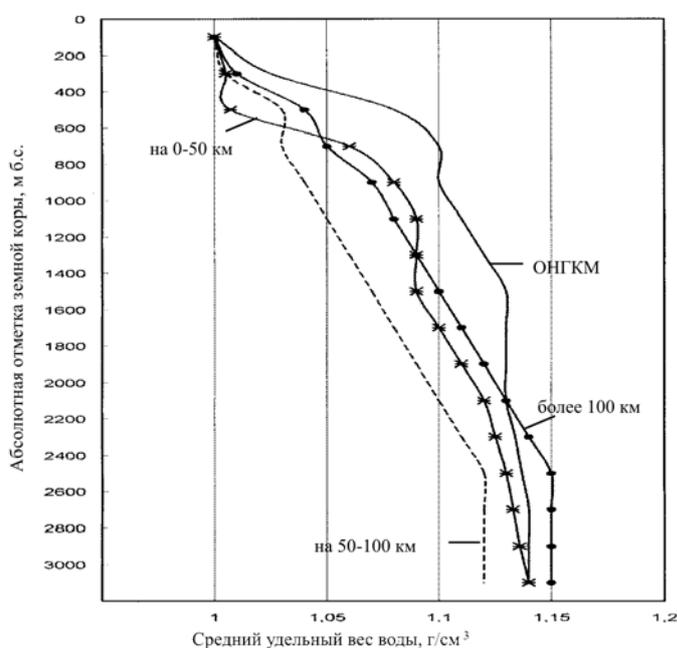


Рис. Средневзвешенный удельный вес подземных вод на различных глубинах залегания и в зависимости от расстояния до ОНГКМ

и на расстоянии до 100 км не имеют существенных отличий по удельному весу. За пределами 100 км зоны вокруг ОНГКМ на глубинах более 1600 м удельный вес подземных вод увеличивается более высокими темпами, чем на этих же глубинах на месторождении и вокруг него.

Для выявления возможных направлений движения подземных вод нижнего этажа в таблице даны приведенные статические уровни пластовых вод на месторождении и на различных расстояниях от него.

По данным таблицы видно, что все водоносные горизонты нижнего этажа не зависимо от глубины их залегания имеют относительно близкие приведенные статические уровни (69-96 м), что находится в пределах возможных ошибок определения удельного веса вод анализируемых водоносных горизонтов, статического уровня, отметки устья скважины и других факторов. При этом в границах месторождения средняя абсолютная

Средневзвешенный удельный вес подземных вод до различных глубин на принятых к исследованию расстояниях от ОНГКМ показан на рисунке, по которому видно, что на территории месторождения и на расстоянии до 50 км от него удельный вес подземных вод, следовательно, и их минерализация по глубине изменяется одинаково.

На расстоянии 50-100 км на глубинах до 1600 м удельный вес подземных вод заметно меньше чем на месторождении, что говорит об отсутствии восходящего тока глубоко залегающих рассолов и возможным нисходящем токе более пресных вод зоны активного водообмена. Глубже 1600 м подземные воды на месторождении

отметка приведенных статических уровней (80 м) до его разработки была лишь на 0-7 м выше урезов воды межженных уровней р. Урал (73-80 м), дренирующего исследуемую территорию и под долиной которого проходит тектонический разлом.

Следовательно, можно сделать предварительный вывод о наличии гидродинамической связи между верхним и нижним этажами в районе ОНГКМ и прилегающей к нему территории в радиусе до 100 км через мощную толщу отложений солей. Она может проходить через тектонические трещины и разломы, другие нарушения монолитности галогенных отложений, устанавливая гидродинамическое равновесие между верхним и нижним этажами водоносных горизонтов.

Таблица

Приведенные статические уровни вод нижнего этажа на ОНГКМ до его разработки и их сравнительная характеристика с урезами межженного уровня основных рек на разном расстоянии от ОНГКМ

№ скважины, глубина опробования, м	Расстояние от ОНГКМ			
	ОНГКМ, урез воды рек 73-80 м б.с.	0-50 км, урез воды рек 102-130 м б.с.	50-100 км урез воды рек 120 м б.с.	Более 100 км, урез воды рек 92-136 м б.с.
№29 1737,5	69,5	104,2	149,7	95,6
71 1772,5	79,2	114,8	151,3	97,9
87 1803,4	85,0	121,2	128,3	73,3
44 1803,4	72,2	123,4	89,0	5,0
69 1856	72,5	118,2	61,9	20,0
93 2121,2	92,5	161,5	97,7	3,3
69 1812	76,4	113,2	124,9	69,8
76 1835,5	87,5	124,4	142,1	86,7
69 2233,4	95,9	116,2	152,6	27,6
82 2059	69,7	88,6	127,5	69,7
77 2173	90,4	99,2	132,4	33,0
77 2224	92,3	115,0	134,9	78,7
78 2267	93,8	105,2	114,6	57,3
90 2336	208	225,0	153,8	73,2
69 2478,4	70,0	85,1	112,7	25,0
46 2606,5	121,9	139,9	173,6	95,9
68 2785,5	133,2	147,1	188,7	105,5
77 2421,5	75,6	97,7	120,2	53,9
77 2535,0	69,1	87,7	102,4	25,6
77 2616,5	78,5	96,8	130,8	52,3
77 2756,0	69,7	83,6	125,4	41,8
Среднее	80,0	105,1	130,7	63,2

В результате интенсивной эксплуатации ОНГКМ, понизившей пластовое давление в нижнем этаже подземных вод региона на 100 кгс/см² и более, нарушилось естественное гидродинамическое равновесие между верхним и нижним этажами подземных вод. Это создало условия для нисходящего движения вод в районе месторождения и на прилегающей к нему территории Уральского бассейна подземных вод. Для выявления механизма и интенсивности нисходящего их движения необходимы специальные исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вагин С.Б. Распространение различных типов водонапорных систем в гидрогеологических бассейнах эпипалеозойских плит юга СССР//Сов. Геология, 1971. №10.С.130-135.

2. Карцев А.А. Гидрогеологические условия проявления сверх гидростатических давлений в нефтегазоносных районах//Ж. Геология нефти и газа, 1980. № 4. С. 40-43.
3. Корценштейн В.Н. Водонапорные системы крупнейших газовых и газоконденсатных месторождений. М.: Недра, 1977. 246 с.
4. Дюнин В.И. Гидрогеодинамика глубоких горизонтов нефтегазоносных бассейнов. М.: Научный мир, 2000. 472с.

А.В.Глянецв

ФИЛЬТРАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ПОРОД ПОКРЫШЕК НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ЮЖНОМ УРАЛЕ И МЕТОДИКА ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В геологии нефти и газа в настоящее время детально изучены породы коллекторы, слагающие природные резервуары жидких и газообразных углеводородов. Иначе обстоит дело с исследованием пород покрышек и движением вод и углеводородов через них. Фильтрационные свойства покрышек являются наименее изученными, и в региональном плане практически не освещены в научной литературе, мало исследуются они и в поисково-разведочных работах. Этот вопрос мы рассмотрели на Южном Урале, где по разработанной нами методике, опытным путем на ряде нефтяных месторождений были определены коэффициенты фильтрации пород покрышек и рассчитаны величины перетока воды через них.

Существующие методы определения коэффициента фильтрации основаны преимущественно на его расчете по общепринятым формулам по проницаемости и полученные результаты не всегда соответствуют фактической его величине в связи с малой его точностью для весьма слабопроницаемых горных пород. Поэтому мы предприняли попытку определить его опытным путем на кернях этих покрышек. Метод основан на определении скорости впитывания воды с соответствующей минерализацией в керн с ненарушенной структурой. Скорость впитывания определяется по изменению веса воздушно сухого образца за определенный период. До начала опыта определяют его вес и площадь поверхности. Вес образца определяется на весах с точностью до 0,01 г с возможной ошибкой $0,25 \cdot 10^{-4}$ относительно его веса. Образец помещается в сосуд с рассолом (с концентрацией - 220г/л, равной минерализации пластовых вод) и герметично закрывают. Последующее взвешивание образца производится через 50-60 суток. Извлеченный из воды образец освобождается от воды на его поверхности фильтровальной бумагой и взвешивается на тех же весах с последующим расчетом коэффициента фильтрации по предлагаемой нами формуле

$$K_{\phi} = \frac{P_M - P_C}{S_{\text{общ}} \cdot T},$$

где P_C - вес сухого образца; P_M - вес образца, впитавшего воду за время T ; T - время впитывания воды образцом, сутки; $S_{\text{общ}}$ - общая площадь впитывания воды образцом, м².

После повторного взвешивания образец вновь помещают в сосуд с водой для продолжения опыта с периодическим взвешиванием через 50-60 суток. Общая продолжительность опыта в нашем случае составила около года. Результаты определения коэффициента фильтрации (K_{ϕ}) пород покрышек опытным путем приведены в таблице. Для сопоставления даны значения коэффициента фильтрации, полученные расчетным путем и данные из литературных источников [1,2].

В результате проведенных опытов нами определены коэффициенты фильтрации пород покрышек на Кичкасской, Каинсайской, Веселовской, Нагумановской и других площадей Южного Урала. Они находятся в следующих пределах: в глинистых известняках и мергелях окского надгоризонта (инт.3000-6000м) от $0,119 \cdot 10^{-5}$ до $0,598 \cdot 10^{-5}$ м/сут; в глинистых известняках фаменского яруса (инт.4000-6000м) от $0,353 \cdot 10^{-6}$ до $0,977 \cdot 10^{-6}$ м/сут; в мергелях и глинистых известняках франского яруса (инт.4000-6000м) от $0,288 \cdot 10^{-6}$ до $0,950 \cdot 10^{-6}$ м/сут; в мергелях и аргиллитах муллинского горизонта (инт.4000-6500м) от $0,237 \cdot 10^{-6}$ до $0,230 \cdot 10^{-5}$ м/сут; в глинистых известняках афонинского горизонта (инт.5500-6500м) от $0,234 \cdot 10^{-6}$ до $0,776 \cdot 10^{-6}$ м/сут.

Вопросы движения подземных вод отражены в работах М.А.Гатальского, Г.П.Якобсона, Е.В.Пиннекера, А.М.Овчинникова и других исследователей.

Таблица

Коэффициенты фильтрации глинистых покрышек
на Южном Урале

Район	Возраст	Глубина зале- гания, м	Литологический состав	Способ расчета Кф, м/сут	
				опытный	расчетный
Каинсайская площадь	oks	6030-6033	мергель	$0,283 \cdot 10^{-5}$	$0,834 \cdot 10^{-5}$
Каинсайская площадь	fm	6214-6222	известняк глинистый	$0,683 \cdot 10^{-6}$	$0,789 \cdot 10^{-5}$
Каинсайская площадь	fr	6272-6275	известняк глинистый	$0,578 \cdot 10^{-6}$	$0,813 \cdot 10^{-5}$
Каинсайская площадь	fr	6419-6422	известняк глинистый	$0,624 \cdot 10^{-6}$	$0,795 \cdot 10^{-5}$
Каинсайская площадь	ml	6378-6383	аргиллит	$0,414 \cdot 10^{-6}$	$0,848 \cdot 10^{-5}$
Каинсайская площадь	ml	6463-6466	мергель	$0,959 \cdot 10^{-6}$	$0,920 \cdot 10^{-5}$
Каинсайская площадь	af	6413-6417	известняк глинистый	$0,916 \cdot 10^{-6}$	$0,760 \cdot 10^{-5}$
Нагумановская площадь	b	4775-4782	алевролит глини- стый	$0,329 \cdot 10^{-6}$	$0,644 \cdot 10^{-5}$
Нагумановская площадь	ml	5950-5961	известняк глинистый	$0,508 \cdot 10^{-6}$	$0,817 \cdot 10^{-5}$
Нагумановская площадь	ms	4775-4782	известняк глинистый	$0,528 \cdot 10^{-6}$	$0,706 \cdot 10^{-5}$
Кичкасская пло- щадь	ml	3393-3398	аргиллит	$0,230 \cdot 10^{-5}$	-
Веселовская площадь	t	3333	известняк глини- стый	$0,520 \cdot 10^{-6}$	$0,39 \cdot 10^{-5}$
Веселовская площадь	fm	3700	известняк глини- стый	$0,457 \cdot 10^{-6}$	$0,473 \cdot 10^{-5}$
Ливкинская площадь	t	3779	известняк глини- стый	$0,564 \cdot 10^{-6}$	$0,551 \cdot 10^{-5}$
Ливкинская площадь	ard	4498	аргиллит	$0,135 \cdot 10^{-5}$	$0,477 \cdot 10^{-5}$
Нижнеуртов- ский свод	ранний мел	2050-2250	аргиллит	$10^{-4} \cdot 10^{-6} *$	-
Обь-Иртышское междуречье	ранний мел	2400-2800	аргиллит	$10^{-4} \cdot 10^{-5} *$	-
г. Удомля	_____	1220-1234	аргиллит	$0,54 \cdot 10^{-7} *$	-

* Данные литературных источников [1,2]

М.А.Гатальский [3] утверждает, что рассолы, приуроченные к зоне застойного режима, хотя и медленно (1-5 м/год), но движутся, а, следовательно, участвуют в водообмене.

Г.П.Якобсон [4] применительно к средне-верхнедевонским нефтегазоносным комплексам Волго-Уральской нефтегазоносной провинции, считает, что движение подземных вод существует повсеместно, а застойность вод даже в самых глубоких частях литосферы отсутствует. Скорость движения подземных вод оценивается им как 4-20 см/год.

П.А.Киселев [5] рассчитал величину перетока воды через глины пермского возраста в районе Припятского прогиба структурного элемента Днепровского артезианского бассейна второго порядка. При коэффициенте фильтрации 0,01 м/сут она равна 0,0011 м/сут. В бассейне р. Ведречь – правого притока Днепра величина перетока воды через слабопроницаемый суглинисто-глинистый слой в четвертичных отложениях по его расчетам составила -0,002883 м/сут (что соответствует нисходящему движению подземных вод) при коэффициенте фильтрации 0,00425 м/сут.

Перетоки вод через породы покрышки нами рассчитаны на Веселовской и Ливкинской площадях. На Веселовской площади: через известняково-глинистую покрышку водоносного пласта $D_{фр2}$ на глубине 4043,6 м, толщиной 7 м с коэффициентом фильтрации $0,446 \cdot 10^{-6}$ м/сут при фактическом градиенте напора 135 м переток воды составил 1,5 мм/год; через известняково-глинистую покрышку водоносного пласта $D_{ф2}$ на глубине 3703,2 м, толщиной 4 м с коэффициентом фильтрации $0,457 \cdot 10^{-6}$ м/сут при фактическом градиенте напора 52 м переток воды составил 1,6 мм/год. Величина перетока воды через известняково-глинистую покрышку водоносного пласта T_1 на глубине 3348 м, толщиной 2,4 м с коэффициентом фильтрации $0,520 \cdot 10^{-6}$ м/сут при фактическом градиенте напора 46 м составляет 3,6 мм/год, а на глубине 3189,8 м при толщине 16 м с коэффициентом фильтрации $0,520 \cdot 10^{-6}$ м/сут при фактическом градиенте напора 31 м – 0,35 мм/год.

На Ливкинской площади: через глинисто-алевролитовую покрышку водоносного пласта $D_{ш}$ на глубине 4485,2 м, толщиной 13 м с коэффициентом фильтрации $0,135 \cdot 10^{-5}$ м/сут при фактическом градиенте напора 94 м переток воды составил 3,5 мм/год; через известняково-глинистую покрышку водоносного пласта T_1 на глубине 3684,7 м, толщиной 32 м с коэффициентом фильтрации $0,564 \cdot 10^{-6}$ м/сут при фактическом градиенте напора 53 м переток воды составил 0,34 мм/год.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гольдберг В. М., Скворцов Н. П. Проницаемость и фильтрация в глинах. - М.: "Недра", 1986.104,120,139 с.
2. Дюнин В.И. Региональная гидродинамика Западно-Сибирского артезианского бассейна. Дисс. кан. д.г-м.н. М.: МГУ, 1974.-250 с.
3. Гатальский М.А. О значении динамики в формировании подземных вод русской платформы. Тр. ВНИГРИ. Сер. Нов.1956. Вып.95. 232-243с.
4. Гидрогеология волго-уральской нефтегазоносной области. М.: Недра, 1967. 422 с.
5. Киселев П.А. Изменение давления с глубиной в водоносных горизонтах при отсутствии или наличии перетекания подземных вод. Водные ресурсы, 2002, том 29, № 4. 416-419 с.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И НЕФТЕНОСНОСТЬ ЗАГОРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Загорское месторождение открыто на Веселовской площади в 1988 году. В региональном тектоническом плане оно расположено в пределах южного погружения Бузулукской впадины близ границы с Восточно-Оренбургским сводовым поднятием. Промышленно значимые залежи нефти выявлены в отложениях афонинского, воробьевского, ардатовского и пашийского горизонтов, а также франского яруса.

По обобщенным нами геофизическим данным, полученным в результате эксплуатационного бурения на Загорском месторождении пласт Д5-2 афонинского горизонта сложен пористыми и трещиноватыми карбонатными породами и залегает в нижней части горизонта (рис. 1). Эффективные нефтенасыщенные толщины пласта колеблются в пределах 3-5 м. Пористость пород составляет – 11-14 %. ВНК (водонефтяной контакт), установлен на глубине - 4006,8 м.

Продуктивный пласт Д5-1 залегает в кровельной части горизонта и представлен известняками и доломитами пористо-кавернозными. Эффективные нефтенасыщенные толщины пласта, в пределах месторождения, составляют 0,8-3,4 м. Пористость по ГИС (геофизическим исследованиям скважин) – 8,8-13,8 %. Залежь пластов афонинского горизонта – пластовая сводовая, в южной части литологически, а в северной – тектонически-экранированная. ВНК пласта Д5-1 в пробуренных скважинах не установлен. Покрышкой служат плотные слабопроницаемые карбонаты кровли горизонта мощностью до 25 м.

Терригенный пласт ДІV представлен пористыми песчаниками и залегает в подошве воробьевского горизонта. Эффективная нефтенасыщенная толщина колеблется от 1,8 до 6,4 м. Пористость по ГИС – 14 %. Тип залежи – пластовый, литологически и тектонически-экранированный. ВНК принят на глубине – 3953,6 м. Однако, в воробьевском горизонте по данным ГИС, в южной части месторождения также отмечается нефтеносность пласта Д4 сложенного известняками низкопористыми. Коэффициент пористости пласта – 5,8 %, коэффициент нефтеносности – 85 %.

Пласт ДІІІ ардатовского горизонта представлен терригенными породами. Нефтеносен пласт в северной части месторождения, в районе скважин № 50, 3762, 3763. В пределах остальной части месторождения пласт представлен переслаиванием песчаников глинистых и глинисто-алевролитовых пород. Эффективная нефтенасыщенная толщина пласта составляет 0,8-7,4 м. ВНК в скважинах – не установлен. Пористость по ГИС – 6,1-9,5 %. Тип залежи аналогичен выше описанному.

Основным нефтенасыщенным пластом Загорского месторождения является пласт ДІ пашийского горизонта, в котором сосредоточено более 60 % запасов нефти всего месторождения. С учетом наших данных пласт представлен переслаиванием песчаников пористых с его плотными и глинистыми разностями, образуя тем самым от одного до трех нефтенасыщенных пропластков (рис. 1). В целом пласт имеет сложное строение с частым литологическим замещением пород. Принятый ВНК расположен на глубине -3793 м. Эффективные нефтенасыщенные толщины пласта ДІ в пределах месторождения изменяются в широких пределах: от 0,8 м в северной части, до 20,6 м – в южной. Пористость по ГИС – 6,5-13%. Залежь - пластовая сводовая, тектонически-экранированная. Покрышкой служат плотные карбонаты и аргиллиты кыновского горизонта.

Образование ловушек нефти в терригенно-карбонатных отложениях девона связано с Акъярским региональным разломом субширотного простирания, сформировавшегося в среднефранско-мендымскую фазу тектогенеза. Амплитуда разлома в районе Загорского месторождения по кровле пашийского горизонта составляет около 70 м. В целом Загорское месторождение нефти по отложениям девона имеет трехкупольное строение с амплитудой от 15 до 45 м. Месторождение приурочено к южному приподнятому блоку. Является тектонически-экранированным в северной части и литологически-экранированным – в южной. Структурные формы девона и приуроченные к ним залежи нефти I НГК относятся к погребенному типу и не находят отражения в выше залегающих отложениях. В связи с чем, пластов с промышленно значимыми залежами нефти в отложениях карбона и перми не выявлено. Однако в верхнефранском подъярусе на Загорском месторождении нефтеносны пласты Дфр1, Дфр2 и Дфр3, видимо, связанные с рифогенными телами.

Продуктивные пласты верхнефранского подъярса представлены карбонатными отложениями. Эффективные нефтенасыщенные толщины пластов Дфр2 и Дфр3 изменяются от 0,6 м до 4,8 м, пласта Дфр1 – от 4,5 м до 15,4 м.

В целом запасы нефти Загорского месторождения, утвержденные в ГКЗ РФ в 1994 году, составляют: категории С₁ – 8407 тыс. т, категории С₂ – 1050 тыс. т. В настоящее время месторождение находится в эксплуатации.

Л.А. Суетина

ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ШИРОКОВСКОЙ ПЛОЩАДИ

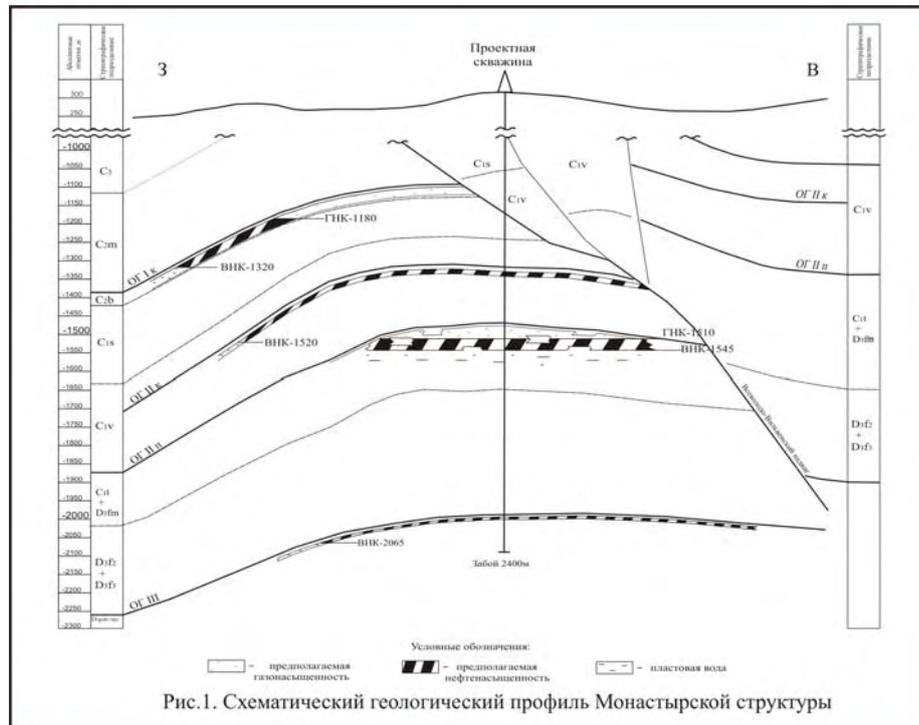
Широковская площадь в тектоническом отношении приурочена к Западно-Уральской внешней зоне складчатости, известной как Передовые складки Урала (ПСУ). В настоящее время на фоне снижающейся ресурсной базы углеводородного сырья в платформенной части Пермского Прикамья данный регион рассматривается в качестве одного из перспективных объектов для постановки геологоразведочных работ по поиску новых месторождений нефти и газа.

В Пермской области к зоне ПСУ относятся Ветосское месторождение нефти с газонефтяной залежью в окско-башкирских и газовой в турнейских отложениях и Сурсайская структура с непромышленной газоконденсатной залежью в карбонатной толще верхнего девона-турне. В зоне сочленения Соликамской депрессии и ПСУ расположено Исаневское месторождение, на котором открыта залежь нефти в верхнедевонско-турнейских отложениях. Нефтегазопроявления различной интенсивности зафиксированы в отложениях от среднего девона до нижней перми [1]. Отмечается облегчение нефтей и увеличение их газонасыщенности в автохтонных частях разреза по сравнению с аллохтонными.

Несмотря на признанную перспективность районов ПСУ отсутствие в течение многих лет целенаправленных геолого-геофизических исследований и низкая степень разбуренности (1,11 скважины на 1000 км²) обусловили слабую степень изученности его геологического строения. Вместе с тем, особенности тектонического строения рассматриваемой территории, во многом существенно отличные от Предуральского прогиба и восточной окраиной Русской плиты, предъявляют к методике проведения геологоразведочных работ особые требования.

В современной тектонической структуре в пределах Кизеловского района, к которому относится Широковская площадь, выделяются следующие субмеридиональные региональные разрывные нарушения: Всеволодо-Вильвенский надвиг и Мальцевский взброс [2]. Всеволодо-Вильвенский надвиг картируется по всем отражающим горизонтам палеозоя. Плоскость сместителя надвига имеет восточное направление и изменчивые углы наклона. Амплитуда вертикального смещения составляет 200-700 м. В разрезе выделяются автохтонная (платформенная) и аллохтонная (складчатая) части. В нижних комплексах прослеживаются те же разрывы, что и в фундаменте, в аллохтоне доминируют разрывы субмеридиональной и северо-восточной серий. Наиболее крупные дизъюнктивы и структурные формы, закартированные геологической съемкой и подтвержденные бурением, относятся к аллохтонной части.

Проведенными сейсморазведочными работами в пределах Всеволодо-Вильвенского надвига закартирована Монастырская структура, предложенная в качестве одного из первоочередных объектов для постановки поисково-разведочных работ. Генезис Монастырского поднятия определяется как тектонический, в его основании находится погребенная тектоническая структура. По данным сейсморазведки, Монастырская структура на уровне окско-башкирских отложений Всеволодо-Вильвенским надвигом разрезана на аллохтонную и автохтонную части (рис.1). С учетом материалов бурения параметрической скважины на Берестянской структуре, расположенной на 11,7 км южнее Монастырского поднятия и находящейся в сходных геологических условиях, можно предполагать, что плоскость сместителя надвига представляет собой зону дробления толщиной до 40 м.



Разрез франско-турнейской толщи в пределах Монастырской структуры представлен депрессионными фациями ККСП, соответствующим обширному Кизеловскому прогибу, протягивающемуся в субмеридиональном направлении вдоль границы ПСУ и Соликамской депрессии. В сторону осевой зоны ККСП в восточном направлении на исследуемой территории

дуемой территории наблюдается региональное увеличение мощности турнейских и уменьшение толщин франских отложений. В этом же направлении нарастает процентное содержание терригенного материала в разрезе этого комплекса. Результаты геолого-геохимических исследований, выполненных специалистами КамНИИКИГС, показали, что основной генерационный потенциал УВ рассматриваемого района следует связывать с франско-фаменскими доманиковыми отложениями, развитыми в осевых частях депрессионных зон [3]. Согласно приведенным расчетам, для Кизеловского района характерны максимальные плотности аккумулированных жидких УВ – до 200 тыс. т. на 1 км². Для района Всеволодо-Вильвенского надвига, к которому приурочено Монастырское поднятие, плотность начальных прогнозных ресурсов УВ категории Д₁-Д₂ верхнедевонско-турнейского комплекса оценивается в 109,8 тыс. т. на 1 км². Соотношение ресурсов нефть/конденсат в зонах развития депрессионных фаций Кизеловского района оценивается как 70/30. Учитывая, что в северных районах Урало-Поволжья верхнедевонско-турнейская толща является основным источником УВ для всего палеозойского чехла, обнаружение залежей нефти, конденсата и газа с высокой степенью вероятности прогнозируется и в вышележающих комплексах палеозоя.

Анализ истории тектонического развития региона показывает, что на заключительных стадиях герцинского цикла тектогенеза структурная перестройка в пределах ПСУ была значительно масштабнее, чем в Предуральском прогибе и на восточной окраине Русской плиты. Формирование надвигов и высокоамплитудных складок, приводило к широкому развитию тектонической трещиноватости, сопровождаясь усиленным прогревом территории и подвергаясь влиянию флюидодинамических потоков, особенно в приразломных зонах [3]. Это явилось причиной значительных вторичных преобразований горных пород и изменения их фильтрационно-емкостных и изолирующих свойств. Выполненные петрофизические исследования пород показали, что определяющую роль в фильтрационных характеристиках играют трещины и микротрещины. Доказано наличие нетрадиционных низкоемких коллекторов трещинного типа в автохтонной части ПСУ.

Таким образом, анализ имеющейся геолого-геофизической и геохимической информации позволяет оценивать Монастырскую структуру как перспективную для поисков залежей углеводородов во всех потенциально продуктивных комплексах палеозоя. Прогнозируемые типы залежей: пластовые сводовые тектонически-экранированные - в карбонатах башкирского яруса и терригенных отложениях визейского яруса; структурно-литологические - в турнейско-фаменских карбонатах и девонских терригенных отложениях. При проходке запроектированной поисковой скважины особое внимание должно уделяться выявлению и оптимальному испытанию трещинных коллекторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Особенности геологического строения и нефтегазоносности Передовых складок Урала // С.Н. Калабин, А.Ф. Катошин, Е.С. Килейко и др. М., ОАО НТК РМНТК «Нефтеотдача», 2000.
2. Результаты региональных геолого-геофизических исследований геологического строения Передовых складок Урала / В.М. Неганов, Е.В. Пятунина, В.И. Родионовский, Ю.М. Александров // Природные ресурсы. Вестник недропользователя Пермской области. 2003. № 1 (9). С.34-47.
3. Перспективы поисков углеводородов в Передовых складках Урала / О.И. Сиротенко, В.И. Дурникин, Л.В. Сиротенко, В.Л. Воеводкин // Природные ресурсы. Вестник недропользователя Пермской области. 2004. № 2 (13). С.36-53.

АНАЛИЗ ИНФОРМАТИВНОСТИ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ ПОИСКАХ НЕФТЕГАЗОПЕРСПЕКТИВНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ТЕРРИТОРИИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ»

В настоящее время практически все поисковые объекты Пермского Прикамья относятся к категории незначительных по размерам поднятий, а также сложнопостроенным ловушкам неантиклинального типа, что обуславливает необходимость совершенствования методики геологоразведочных работ, проводимых с целью их выявления и подготовки к поисково-разведочному бурению. Сокращение размеров перспективных объектов и усложнение их геологического строения предъявляет повышенные требования к точности и детальности их картирования, в том числе определяет необходимость комплексирования различных геолого-геофизических методов, направленных на повышение эффективности решения этой задачи.

В настоящее время основным методом подготовки локальных структур к поисково-разведочному бурению является сейсморазведка, позволяющая решать эти задачи с наибольшей детальностью и точностью. Другие геолого-геофизические методы (гравиметрия, магниторазведка, газогеохимия, АКГИ) рассматриваются в качестве вспомогательных, рекомендуемых к проведению с целью выделения участков для постановки детальных работ, а мнение об их эффективности не имеет однозначной оценки.

Ниже приводится краткий обзор результатов, проведенных за последние пять лет на территории деятельности ООО «ЛУКОЙЛ-Пермь» геолого-геофизических работ, направленных на выявление и подготовку локальных нефтеперспективных объектов, что позволяет с определенной степенью достоверности судить об информативности того или иного метода.

Анализ результатов материалов сейсморазведки и их сопоставление с данными глубокого бурения показывает, что коэффициент подтверждаемости структур, подготовленных данным методом, составил 0,86. Вместе с тем, в последние годы отмечается рост количества «пустых» структур: из 45 объектов, подготовленных за этот период, продуктивными оказались 28, в т.ч. 20 - подготовленных сейсморазведкой, 8 – сейсмическими работами в комплексе со структурно-параметрическим бурением.

Основными факторами, влияющими на погрешность подготовки структур, являются:

- недостаточность структурно-параметрических данных;
- погрешности в определении скоростной модели среды, искажающие гипсометрический уровень отражающих горизонтов;
- ошибки в определении значений времен пробега волны до основного опорного горизонта.

Наиболее сложными по сейсмогеологическому строению являются восточные районы Пермского Прикамья, где выход на поверхность нижнепермских сульфатно-карбонатных пород, пестрота фаций артинских и кунгурских отложений, широкое развитие обвального-карстовых явлений делают прослеживаемость ОГ весьма слабой. На территории Соликамской депрессии интерперетация сейсморазведочных материалов осложняется, кроме того, наличием в верхнем терригенном комплексе полос увеличенных мощностей высокоскоростных ангидритов иренского горизонта, линейных размывов кунгурских отложений, полосы артинских рифов и значительной литологи-

ческой изменчивостью мощной толщи солей [3]. Отсюда вытекает необходимость на современном этапе геологоразведочных работ обязательного комплексирования сейсмических исследований и структурного бурения.

Совершенствование методик гравиметрических исследований и методов их обработки (использование высокоточных приборов и современного программного обеспечения) [4] позволили значительно расширить спектр их применения при проведении нефтепоисковых работ, в том числе направленных на выявление локальных нефтеперспективных объектов. Площадные крупномасштабные гравиразведочные работы в рассматриваемый период проводились на территориях Соликамской и Верхнепечерской депрессий, Косьвинско-Чусовской седловины и в зоне Передовых складок Урала параллельно с сейсморазведочными исследованиями. На ряде площадей (Таманская, Западно-Таманская, Мезенская и др.), характеризующихся слабой геофизической изученностью, гравиметрические исследования опережали сейсморазведочные работы и позволили наметить нефтеперспективные объекты для постановки данных работ.

Анализ результатов гравиметрических исследований показывает высокую их эффективность при решении широкого круга задач в различных тектонических зонах – от уточнения особенностей геологического строения изучаемых территорий до выявления нефтеперспективных объектов. Нельзя не отметить, что информативность метода значительно возросла благодаря разработке и внедрению новых комплексов обработки и интерпретации гравиметрических данных (система VECTOR), позволяющих осуществлять трехмерную интерпретацию полученного материала, выявлять и привязывать по разрезу структурные неоднородности, в том числе контролирующих ловушки углеводородов [4]. Вместе с тем, необходимо отметить, что для ряда объектов достоверность выявления и картирования нефтеперспективных структур данным методом требует столь значительного сгущения расстояния между гравиметрическими профилями, что затраты на выполнение этих работ становятся сопоставимыми с финансированием детальных сейсморазведочных работ по 3D-технологии. Это касается, например, картирования рифогенных массивов артинского возраста на территории Косьвинско-Чусовской седловины (Верх-Истокская площадь), для которых характерны незначительные размеры и высокая амплитуда. Конфигурация выделенных в районе Таборковского участка аномалий гравитационного поля, связываемых с данным типом структур, в последующем не подтвердилась проведенными сейсморазведочными работами по 3D-технологии. Необходимо отметить определенные трудности картирования гравиразведкой девонских рифов в Соликамской депрессии, связанные с изменчивостью мощности и литологии соляной толщи, проявлением солянокупольной тектоники, наличием нижнепермских рифов. В этих условиях повышение точности картирования нефтеперспективных объектов требует использования специальной методики разделения полей (декомпозиция), позволяющей последовательно вычлещать из наблюдаемого поля гравитационные эффекты от геологических объектов известного строения, выделяемых по данным сейсморазведки и бурения.

Аэромагнитные исследования проводились в комплексе аэрогеофизической съемки на территории, охватывающей Камский свод, Соликамскую депрессию, Вычегодский прогиб, южное крыло Верхнекамской впадины, Передовые складки Урала и часть Центрально-Уральского поднятия. Использование современного аппаратного комплекса и специальных методик обработки получаемой информации (послойный расчет трансформаций магнитного поля), расширили возможность данного метода: наряду с изучением региональных особенностей геологического строения осадочного чехла (карта разломно-блоковой тектоники магнитного «фундамента»), показаны потенциальные возможности данного ме-

тогда для выявления осложнений осадочного чехла антиклинального и неантиклинального типов, перспективных на обнаружение залежей углеводородов [1,2].

Использование материалов аэрокосмогеологических исследований (АКГИ) при выявлении нефтеперспективных объектов продемонстрировано на результатах крупномасштабных съемок, проведенных в рассматриваемый период на территории Предуральяского прогиба. Большинство выявленных ландшафтных аномалий, отождествляемых с поднятиями осадочного чехла и структурами облекания артинских рифов, соразмерно отражают приподнятые участки, оконтуренные региональной сейсморазведкой. Связь этих аномалий со структурами осадочного чехла подтверждается и пространственным совпадением с гравитационными аномалиями, выделенными на основании выполненных позже детальных исследований.

Полученные в последние годы материалы показывают целесообразность проведения сравнительного анализа результатов структурно-геоморфологических и гравиметрических исследований, значительно облегчающего геологическую интерпретацию полученных данных и повышающих достоверность выделения нефтеперспективных объектов.

Нефтегазопроисковые геохимические исследования (грунтовая и водная газовые съемки) в рассматриваемый период проведены на ограниченном числе объектов в комплексе с сейсморазведочными работами. Полученная информация показывает принципиальную возможность использования этих методов для разбраковки выявленных структур по степени их перспективности.

Анализ опыта комплексирования геолого-геофизических исследований при подготовке нефтеперспективных объектов в условиях Пермского Прикамья позволяет рекомендовать следующую последовательность их проведения:

- проведение опережающих крупномасштабных площадных гравиметрических съемок в комплексе с аэрокосмогеологическими исследованиями, направленных на выявление перспективных объектов для постановки детальных сейсморазведочных работ;
- проведение сейсморазведочных работ в комплексе с геохимическими исследованиями с целью подготовки локальных объектов и оценки перспектив их нефтегазоносности;
- в случае сложного объекта проводится детализация особенностей его строения на основе комплекса 3D-сейсморазведки и высокоточной гравиметрии (масштаб до 1: 10000).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Результаты и перспективы комплексной аэрогеофизической съемки в труднодоступных районах / Ю.Н. Гололобов, В.Г. Мавричев, М.А. Морозова, И.В. Степанов // Разведка и охрана недр. 2002. № 12.

2. Роль аэрогеофизической съемки в решении нефтегазопроисковых задач / В.Г. Мавричев, Ю.Н. Гололобов, А.А. Петрова и др. // Разведка и охрана недр, 2002, № 12.

3. Нетрадиционные ловушки нефти – резерв повышения эффективности геологоразведочных работ / В.М. Неганов, А.Н. Морошкин, А.И. Жданов и др. // Геофизика, спец. выпуск. 2002.

4. Обнаружение и локализация источников аномалий геопотенциальных полей в системе «Вектор» / В.М. Новоселицкий, Г.В. Простолупов, С.Г. Бычков, Г.П. Щербинина // Геофизика XXI века – прорыв в будущее: Материалы международной геофизической конф. М, 2003.

СТРОЕНИЕ ПРИПОВЕРХНОСТНОЙ ГИДРОСФЕРЫ В РАЙОНЕ РОСТОВИЦКОЙ НЕФТЕПЕРСПЕКТИВНОЙ СТРУКТУРЫ

Ростовицкая структура относится к числу нефтеперспективных объектов Соликамской депрессии. Вместе с тем, освоение данной структуры носит проблемный характер, что связано с расположением большей её части в пределах промышленных запасов калийных солей Верхнекамского месторождения и вблизи месторождений подземных вод хозяйственно-питьевого назначения «Сурмог» и «Усолка». В связи с этим для безопасного освоения данной структуры требуется уточнение ряда факторов, среди которых важное место занимают особенности строения приповерхностной гидросферы и специфика природного гидрогеохимического фона, отражающих, с одной стороны, характер взаимосвязи надсолевых водоносных комплексов, а с другой – степень естественной защищенности зоны пресных вод от возможных техногенных нагрузок.

Согласно гидрогеологическому районированию Восточно-Русского артезианского бассейна, район Ростовицкой структуры принадлежит Камско-Чусовской группе бассейнов пластовых вод Предуральяского сложного бассейна второго порядка [2]. Зона активного водообмена в пределах рассматриваемой территории включает четвертичный аллювиальный водоносный горизонт, распространенный в долине реки Малый Сурмог и ее притоков, шешминские отложения, развитые в виде линзы толщиной 10-20 м в сводовой части Ростовицкой структуры, и верхнюю часть соликамского горизонта (терригенно-карбонатная толща). Глубокий эрозионный врез поверхностных водотоков, обуславливающий дренаж пестроцветной толщи нижележащими соликамскими отложениями и ее безводность на большей части территории, позволяет рассматривать шешминские отложения в качестве «буферной зоны», увеличивающей защищенность вод зоны активного водообмена от поверхностного загрязнения.

Глубина залегания грунтовых вод в пределах Ростовицкой структуры изменяется от 5-8 м на южном крыле структуры (долина р. Ростовица) до 45-56 м в ее центральных и западных районах. Разрез зоны аэрации сложен терригенными отложениями четвертичного возраста и пестроцветной толщи, среди которых глинистые разности (суглинки, аргиллиты) занимают подчиненное положение. Кроме того, значительная роль принадлежит разрушенным и трещиноватым разностям пород, также характеризующимся низкими изолирующими свойствами. Эти особенности разреза зоны аэрации обуславливают низкую степень защищенности вод от поверхностного загрязнения на большей части Ростовицкой структуры.

Согласно современным представлениям о закономерностях формирования региональной гидродинамики вод зоны активного водообмена [1,3], в разрезе приповерхностной гидросферы рассматриваемого района выделяются две гидродинамические зоны. Верхняя часть разреза, сложенная шешминскими и верхнесоликамскими отложениями, рассматривается как зона безнапорных и субнапорных нисходящих вод. Сток подземных вод данной зоны осуществляется от водоразделов, служащих областями их питания, к долинам рек, где они разгружаются в виде родников и субаквально

в руслах. Такой сток является местным, в отличие от субрегионального, в который вовлечены трещинно-пластовые воды нижележащей части разреза (зона субнапорных нисходяще-восходящих вод), движущиеся к р. Каме, являющейся основным базисом дренирования района. В районе Ростовицкой структуры основной объем местного стока ограничен долинами р. Ростовица и ее правого притока р. Козловки. Исходя из орографических условий рассматриваемого района распространение данного стока в район водозаборов «Сурмог» и «Усолка» практически исключается.

Представление о характере субрегиональных гидродинамических условий трещинно-пластовых вод соликамской свиты, находящихся ниже дренирующего влияния местной речной сети, может быть получено из построенной схемы приведенных гидроизопьез. При общем западном направлении движения вод в сторону р. Камы картина локального перераспределения напоров носит более сложный характер. Наличие к востоку от Ростовицкой структуры двух пьезомаксимумов определяет преобладание двух направлений стока в ее район – с северо-востока и юго-востока. При этом не исключается перераспределение данных потоков подземных вод вдоль неотектонически активных линейных трещиноватых зон, выделяемых в данном районе по материалам дистанционных исследований (структурного дешифрирования крупномасштабных АС).

Район Ростовицкой структуры характеризуется нормальным гидрогеохимическим разрезом – с глубиной происходит закономерное увеличение минерализации и смена гидрохимических условий. В вертикальном разрезе надсолевого этажа можно выделить три гидрогеохимические зоны: зона пресных гидрокарбонатно-кальциевых вод (именно эта зона условно обозначена как приповерхностная гидросфера), зона сульфатных вод, зона хлоридно-натриевых вод.

Для уточнения особенностей гидрогеохимического фона проведено опробование 36 водопунктов, расположенных в контуре Ростовицкой структуры и на прилегающей территории. Большинство опробованных водопунктов являлись естественными выходами подземных вод верхнесоликамского водоносного горизонта, что говорит о доминирующем значении данного водоносного горизонта в общем объеме ресурсов пресных вод в районе Ростовицкой структуры.

Пробы воды анализировались на комплекс компонентов, в состав которого входили:

- 1) макрокомпоненты ионно-солевого состава вод и общая минерализация;
- 2) содержание нефтепродуктов, определенное методом ИКС-спектрометрии (нижний предел обнаружения 0,05 мг/л);
- 3) газонасыщенность вод и состав водорастворенных газов, определяемый хроматографическим методом.

При характеристике природного гидрогеохимического фона приповерхностной гидросферы в районах нефтедобычи особое внимание должно уделяться исследованию его органической составляющей, в частности водорастворенным углеводородам (так называемым «нефтепродуктам» - НП), т.к. они обычно используются в качестве показателей нефтепромыслового загрязнения. По данным анализа отобранных проб выявлен ряд зон с аномально высокими показателями содержания НП. Поскольку район Ростовицкой структуры антропогенному воздействию практически не подвержен, повышенное содержание НП в приповерхностной гидросфере связано,

по всей вероятности, с естественными факторами (природные вертикальные «ореолы рассеяния» залежей, органика вмещающих и поверхностных отложений).

Результаты газогидрохимического опробования свидетельствуют о наличии в районе Ростовицкой структуры зон повышенной проницаемости осадочного чехла, совпадающих с линеаментами, выделенными по материалам структурного дешифрирования крупномасштабных АС. Данные зоны характеризуются повышенным содержанием углеводородных компонентов водорастворенных газов, обусловленным активизацией вертикального массопереноса из нижележащих частей разреза. Одна из таких зон, представляющих потенциальную опасность для ведения горных работ, пересекает свод Ростовицкой структуры и совпадает с тектоническим нарушением, выделяемым по данным малоуглубленной сейсморазведки.

Проведенный анализ гидрогеологических условий района Ростовицкой структуры и комплексное гидрогеохимическое опробование водопунктов позволяет сделать следующие выводы:

1. По особенностям строения зоны аэрации район Ростовицкой структуры характеризуется слабой естественной защищенностью приповерхностной гидросферы от поверхностного загрязнения. В связи с этим, в случае проведения на ней буровых работ, наиболее оптимально размещение площадок скважин в районе развития шешминских отложений (скважины №№ 722,752,753,757), играющих роль «буферной зоны» при перехвате поверхностного загрязнения и ограничивающего масштабы латерального распространения поллютантов.

2. Анализ орографических и гидродинамических условий рассматриваемой территории позволяет предполагать, что в случае освоения Ростовицкой структуры воздействие процессов техногенеза на водозабор «Сурмог» полностью исключается. Вместе с тем, не исключено, что в случае ввода данного водозабора в промышленную эксплуатацию активизация процессов вертикального массопереноса флюидов из нижележащей части разреза может привести к эффекту «мерцающего» сверхнормативного загрязнения вод нефтепродуктами.

Таким образом, полученные результаты дают дополнительную информацию для планирования дальнейших геологоразведочных работ по обоснованию возможности безопасного освоения Ростовицкой структуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Всеволожский В.А. Подземный сток и водный баланс платформенных структур. М.: Недра, 1983.
2. Гидрогеология СССР. Т. XIV: Урал. М.: Недра, 1972.
3. Иконников Е.А. О вертикальной гидродинамической и гидрогеохимической зональности надсолевой толщи Верхнекамского месторождения солей // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. Пермь: ПГУ, 2002.

ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ТЕХНОГЕННЫЕ ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ВОСТОЧНОМ ОРЕНБУРЖЬЕ

Рельеф территории Восточного Оренбуржья разнообразен по генезису и орографии. Выделяются следующие крупные морфоструктуры: Уральские горы, Зауральский пенеппен, равнины Тукая, а также равнина Предуральского прогиба. Южно-Уральское низкогорье представлено о эрозированными горами, образовавшимися в результате разрушения и размыва структур позднепалеозойской (герцинской) горной страны. Отдельные хребты и увалы связаны с зонами поднятий (антиклинорий: Адамовский, Ащебутакский, Суундукский, Теренсайский, Ушкатинский, Текельды-Тауский, Айкейский), а понижения с зонами впадин (Магнитогорский синклинорий, Таналык-Орская депрессия, Акжаро-Джусинский грабен-синклинорий, Буруктальский синклинорий и др.). Исключением является обращенная морфоструктура Зилаирского плато, сформированная на Зилаирском синклинории. Синклинальные прогибы, разделяющие горные хребты, заняты участками речных долин меридионального протяжения, а долины рек Сакмары, Урала и их притоков широтного протяжения меняют свою ориентировку, делают неоднократные коленообразные изгибы. Территория приурочена к южной части Уральской гидро-геологической складчатой области, выделяемой в пределах горно-складчатого Урала. Широкое развитие здесь получили воды трещинного типа, среди которых по классификации И.К. Зайцева и Н.И. Толстихина [2] выделяются классы регионально-трещинных вод зоны выветривания (Т6), регионально-трещинные воды зон тектонической и литогенетической трещиноватости (Т7), трещинно-карстовые (Т8), и локально-трещиноватые (Т9) воды.

По литолого-стратиграфическому принципу здесь выделено 17 водоносных комплексов вод трещинного и трещинно-карстового типа. Однако основное значение в решении вопросов водоснабжения населения играют воды аллювиальных отложений долины р. Урал и его притоков, относящихся к классу поровых вод пластового типа. За счет аллювиальных вод осуществляется водоснабжение большинства районов региона, качество воды которых были объектом наших исследований с 2000 г.

Выполненное под руководством А.Я. Гаева районирование подземного и поверхностного стока Восточного Оренбуржья позволило выделить макробассейны стока: Уральский, Верхнетобольский, Жетыколь-Буруктальский бессточный – озерный (рис.). В Уральском макробассейне выделены Суундукский, Большекумакский, Губерлинский и Сакмарский мезобассейны стока более крупных притоков I порядка, которые в свою очередь подразделили на мезобассейны стока притоков II и более порядков. Также в макробассейне Урала отмечены маловодные притоки I порядка: возле Орска мезобассейн I.a – Елшанский, на юге в Кувандыкском районе мезобассейны: I.б – Алимбетовский, I.в – Кияла Буртинский, I.г – Бурлыкский. В Верхнетобольском макробассейне выделены соответственно мезобассейны маловодных притоков I порядка: II.1. Кокпектысайский, II.2. Кайрактинский, II.3. Ащисуйский.

По характеру стока территория Восточного Оренбуржья делится на периферийную и внутреннюю области стока. Периферийная область стока относится к бассейнам верхнего течения р. Тобол, верхнего и среднего течения р. Урал. Территория бассейна р. Урал характеризуется значениями подземного стока от 0.05 до 1.2 л/с · км², при среднем значении около 0.32 л/с · км². Кроме того, водные ре-

суды этой области стока пополняются за счет транзитного поверхностного и подземного стока по долине р. Урал.

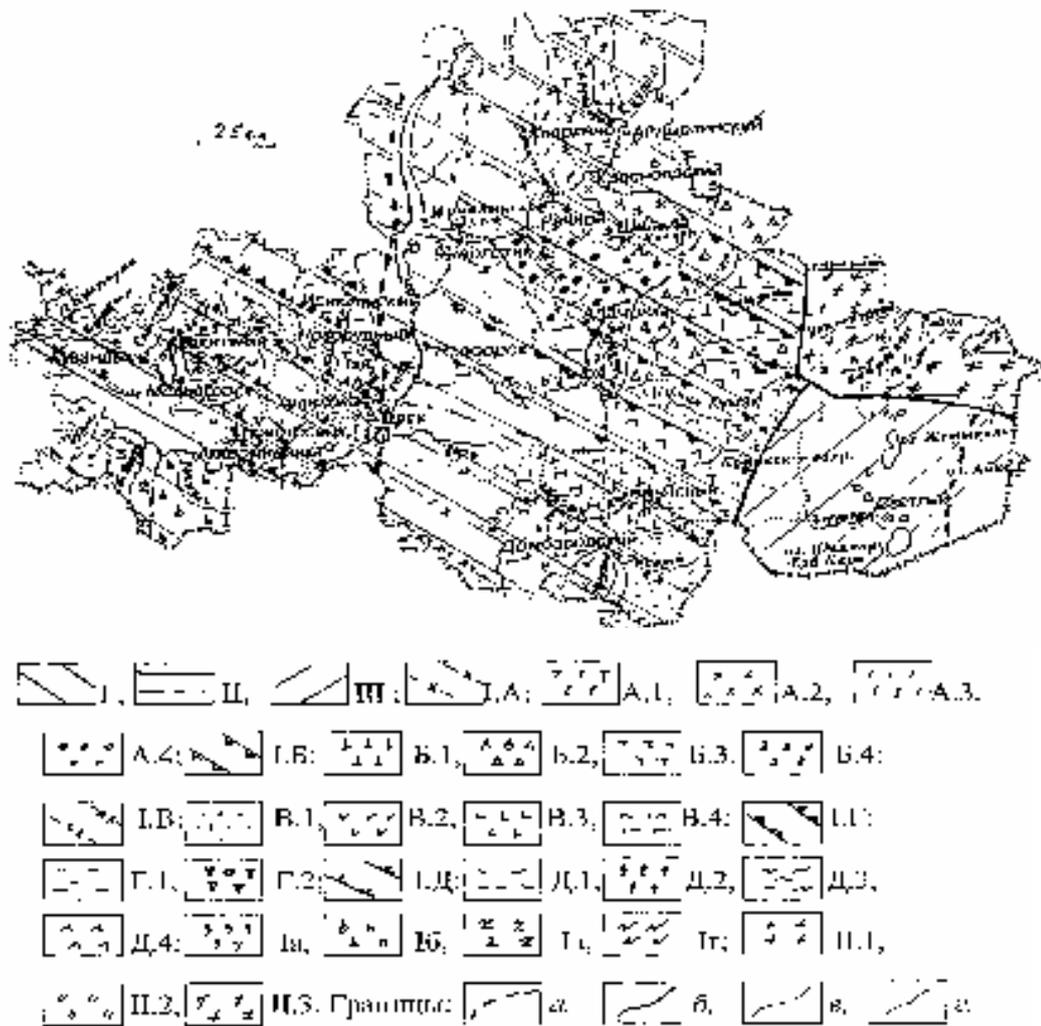


Рис. Схема районирования подземного и поверхностного стока Восточного Оренбуржья (составили Гаев А.Я и Леонтьева Е.А.)

Макробассейны стока: I – Уральский, II – Верхнетобольский, III – Жетысоль – Буруктапский бассейно – озерный.
 Мезобассейны стока: I.A – Суундукский; A.1 – Карабутакский, A.2 – Урус – Каскаевский, A.3 – Якшиножирский, A.4 – Жуонский (Джусинский); I.B – Большесукский; B.1 – Жангылашский, B.2 – Жаринский (Джартинский), B.3 – Кулакский, B.4 – Карабутакский; I.B – Орский; B.1 – Ункоитский, B.2 – Кутульский, B.3 – Кинибайский, B.4 – Камаский; I.I – Туберлицкой; Г.1 – Сухотуберлицкой, Г.2 – Чейженский; I.D – Сакмарский; Д.1 – Бывицкий, Д.2 – Кураганский, Д.3 – Курундский, Д.4 – Касмарский; и также в макробассейне Урала отмечены: возле Орска мезобассейн I.а – Елтанский, на юге и Куланджакском районе мезобассейны: I.б – Алимбетовский, I.в – Кыла – Буртинский, I.г – Бурлыкский; II.1 – Кокчетайский, II.2 – Кайрагытский, II.3 – Ашисульский. Границы: а – постные, расположенные в наклонной области и выхода на поверхность по геологическим порогом складчатых сооружений, б – макробассейнов стока, в – мезобассейнов стока притоков I порядка, г – мезобассейнов стока притоков II и более порядков.

Верхнетобольская транзитная область характеризуется значениями подземного стока менее 0,05 л/с · км². Область внутреннего стока приурочена к территории Адамовского и Светлинского районов. Разгрузка поверхностных и подземных вод осуществляется в акватории озерных котловин (Жетыколь, Шалкар-Ега-Кара, Айке) с расходом воды в естественных условиях на испарение. Ресурсы пресных вод в этой территории весьма ограничены и характеризуются модулями стока от 0.05 до 0.01 л/с · км² и менее. Это обстоятельство резко ограничивает возможности дальнейшего развития производительных сил территории. Для фермерских хозяйств и мелких водопотребителей решение видится в поиске и использовании небольших скоплений пресных вод инфильтрационного и конденсационного происхождения. Для более крупных водопотребителей очевидна необходимость переброски пресной воды из бассейна р. Урал [1,3]. В связи с тем, что эти ресурсы также не очень велики и в бассейне Урала уже ощущаются процессы их истощения, необходимо обеспечить научное обоснование их охраны и рационального использования.

Выполненные нами исследования качества поверхностных и подземных вод в бассейне р. Урал, включая все водозаборы централизованного водоснабжения городков и районных центров (г. Орск, Новотроицк, Гай, Медногорск, Кувандык, Ясный, Адамовка, Ддомбаровка, Кваркено, Новоорск, Светлый и др.) свидетельствует о развитии процессов загрязнения и метаморфизации химического состава вод, которыми охвачено не менее 20% ресурсов, вовлеченных в эксплуатацию. Опасные тенденции нарастания масштабов и глубины техногенной трансформации гидросферы проявляются все более отчетливо.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабушкин В.Д., Гаев А.Я., Гацков В.Г., Миронов С.В., Штерн В.О., Научно-методические основы защиты от загрязнения водозаборов хозяйственно-питьевого назначения / Пермь, Перм. ун-т. 2003 с.
2. Кирюхин В.А., Толстихин Н.И. Региональная гидрогеология: Учебник для вузов. Недра, 1987. 382 с.
3. Самарина В.С., Гаев А.Я., Нестеренко Ю.М. и др. Техногенная метаморфизация химического состава природных вод (на примере эколого-гидрогеохимического картирования бассейна р. Урал, Оренбургская область). Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 1999. 444 с.

Н.В. Соломатин

К МЕТОДИКЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДНОГО СТОКА В АРИДНЫХ УСЛОВИЯХ

Проведенные исследования водного баланса Южного Предуралья показали, что формирование величины расходных составляющих во многом зависит не только от рельефа, но и от уровня антропогенного воздействия на ландшафты водосборов малых рек Южного Урала, на 90% занятых сельскохозяйственными угодьями. К наиболее важным факторам, влияющих на величину стока талых вод, относятся доля зяби на их водосборной площади, аридность территории и её рельеф. При этом значительные изменения в хозяйственной деятельности на ней, в результате изменения инфильтрационных свойств их поверхности, происходят

за 5-10 лет. Используя методику, разработанную Ю.М. Нестеренко, было исследовано влияние на поверхностный и подземный сток уровня антропогенной деятельности на водосборе типичных реках степного Предуралья – р.Большой Кинель и р.Самара и сухостепного Зауралья – р.Кугутык и р. Жарлы [1, 2, 4].

В значительной степени на весенний поверхностный сток влияет зяблевая основная обработка почв на водосборной площади рек (табл). Зависимость коэффициента стока от доли зяби представлена на рис. При 60-67% распаханности и 36-56% зяби от водосборной площади коэффициент корреляции (r) между поверхностным стоком талых вод и долей зяби составил 0.82-0.84. Следует отметить, что при дальнейшем увеличении доли зяби уменьшается её влияние на коэффициент стока. Это можно объяснить увеличением среднего уклона пахотных земель из-за распашки крутосклонных участков и, как следствие этого, уменьшения перехватываемого стока с выше расположенных угодий с большим коэффициентом стока [1, 2, 3, 4].

Таблица

Динамика изменений поверхностного стока талых вод с малых водосборов в среднем по расчетным периодам в зависимости от хозяйственной деятельности в агроклиматических зонах Оренбургской области

Годы	Агроклиматические зоны, реки														
	Центральная, рр. Самара, Ток, Салмыш					Северная, рр. Б.Кинель, М.Кинель, Турхановка					Восточная, рр. Б.Кумак, Жарлы				
	осадки зим- ние, мм	сток, мм	коэффициент стока	% пахотных земель	Кз, %	осадки зим- ние, мм	сток, мм	коэффициент стока	% пахотных земель	Кз, %	осадки зим- ние, мм	сток, мм	коэффициент стока	% пахотных земель	Кз, %
1936-1941	91	47	0.52	40	12	112	44	0.39	40	12					
1942-1945	116	64	0.74	-	5	126	83	0.66	-	6					
1946-1954	129	68	0.53	48	12	125	76	0.61	44	13	78	43	0.55	5	1
1955-1965	154	58	0.38	63	20	151	66	0.44	65	35	96	27	0.28	35	17
1966-1975	133	35	0.25	67	52	151	44	0.29	63	45	106	29	0.27	45	23
1976-1985	130	34	0.26	64	56	150	52	0.34	62	44	97	36	0.37	40	28
1986-1990	161	49	0.30	63	53										
1991-1995	165	78	0.48	63	36										

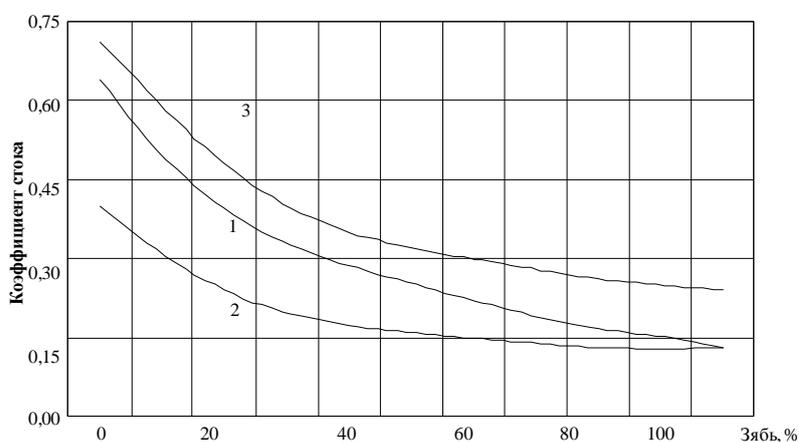


Рис. Зависимость коэффициента поверхностного стока талых вод в Южном Зауралье (Кст) от доли зяби на водосборе: 1 - выбитая целина; 2 – мало выбитая целина (для сравнения показана зависимость стока от доли зяби в Южном Предуралье (3)).

Результаты комплексного анализа данных о поверхностном стоке и хозяйственной деятельности на территории Южного Урала за период с 1936 по 1995 гг. показали, что длинные ряды наблюдений (более 25 лет) на малых реках не всегда возможно использовать для целей расчета и прогноза стока, т.к. в этот период показатели хозяйственной деятельности на их водосборах могут значительно меняться и существенно влиять на сток. Более объективную картину формирования стока дают небольшие (5-10 лет) ряды наблюдений за ним. В этом случае более полно учитываются изменения в хозяйственной деятельности на водосборе и усредняются особенности влияния погодных условий отдельных лет во время снеготаяния и предшествующих зим на формирование паводкового стока, приближаясь к средним многолетним, и их можно считать фоном, на котором проявляются особенности влияния на него хозяйственной деятельности, типичной для данного короткого расчетного периода [3,4].

Возникает целесообразность, а в ряде случаев и необходимость, применения ландшафтно-генетического балансового метода, предоставляющего возможность учитывать изменения в стокообразующих факторах в анализируемом периоде и возможные изменения в них в перспективном расчетном периоде.

Рассчитанные по балансовому методу величины питания подземных вод по изучаемым рекам сопоставлялись с величинами, вычисленные по меженному стоку рек Южного Урала (р. Самара, р. Б. Кинель, р. Кугутык, р. Жарлы), используя данные Гидрометеослужбы за период 1936-1990 годы. Анализ полученных данных показывает, что на питание подземных вод через зоны активного водообмена влияет соотношение и состояние угодий на водосборной площади рек и, в особенности, доля зяблевой (осенней) основной обработки. Согласно данным, полученных по балансовому методу, увеличение осенней обработки почвы приводит к увеличению питания подземных вод, в то же время, уменьшение доли естественных угодий (целины не выбитой) снижает количество инфильтрующейся влаги в подземные воды. Аналогичная закономерность прослеживается и по величинам, вычисленные по меженному стоку [1, 2, 3, 4].

Сравнение величин подземного стока рассчитанных по водному балансу на водосборах р. Самара и р. Б.Кинель с величинами, рассчитанными по ее меженному стоку на замыкающем водосбор створе, показывает, что с учетом «добегания» подземных вод между ними имеется хорошее соответствие.

В то же время, величины подземного стока по р. Кугутык в пгт Домбаровский и р. Жарлы в пгт Адамовка, рассчитанные по водному балансу за период с 1948 по 2004 гг составляли, соответственно, 5,4-19,5 мм (коэффициент питания подземных вод в расчете на зимние осадки в целом по водосбору (Кп.п.ст.вс) колебался от 0,10 до 0,12) и 8,83-15,6 мм (Кп.п.ст.вс – 0,16-0,13), что в 10-15 раз выше величин, рассчитанных по меженному стоку рек на замыкающем водосбор створе (от 0,3 мм по р. Кугутык до 1,6 мм по р. Жарлы).

Различия между величинами, полученными по этим двум методикам, объясняется тем, что водосборы рек Южного Зауралья расположены в более засушливых условиях, чем водосборы рек Южного Предуралья и менее расчленены рельефом. Почвенный покров представлен черноземами южными, темно-каштановыми почвами и солонцами.

На участках развития коренных пород мощность почвенного покрова составляет 2-2,4 м и развиты тяжелые суглинки. Глубже идут метаморфически из-

мененные породы. На участках развития кор выветривания развиты мощные глины до 12-15 м. Глинистый и тяжелосуглинистый горизонт почв на водосборах начинается с глубины 80-150 см от поверхности, представлен, в основном, желто-бурой карбонатной глиной или суглинком, характеризующимися малыми коэффициентами фильтрации – 0,0001-0,00015 м/сут.

Это затрудняет инфильтрацию поверхностных вод в нижележащие горизонты за пределы зоны активного водообмена (1,5-3 м) в водоносные горизонты, увеличивает величину испарения подземных вод, что обусловило малое питание подземных вод и, соответственно, уменьшение речного стока.. Основной расход инфильтрующихся вод за пределы слоя активного потребления растениями идет на суммарное испарение грунтовых вод и разгружается в многочисленные бессточные озера рассматриваемых бассейнов рек (в бассейне р. Кугутык площадь бессточных районов и озер составляет 3,45 км²).

Это косвенно подтверждается данными, полученными по результатам наблюдения за уровнем грунтовых вод в скважинах в рассматриваемом районе: среднемноголетняя величина питания ПВ составила около 3 мм (коэффициент питания подземных вод в расчете на осадки (Кп.п.ст) – 0,01076), в то же время по данным меженного стока она составила всего 0,15 мм (Кп.п.ст – 0,00054), максимум – 0,48 мм (Кп.п.ст – 0,00172).

Сравнивая с данными по величине питания подземных вод через зону аэрации песчаной пустыни района Ясхана – в среднем по всей площади 6,8 мм (Кп.п.ст – 0,0538), можно сделать следующий вывод: в условиях засушливого климата при наличии бессточных районов и районов бессточных водоемов расчет подземного стока по меженному стоку реки по методике определения продуктивных (восстанавливаемых) запасов подземных вод для целей водоснабжения не позволяют получать достоверные результаты [5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нестеренко Ю.М., Соломатин Н.В. Режим и баланс на пахотных и целинных черноземах Южного Урала //Водные ресурсы, геологическая среда и полезные ископаемые Южного Урала. Оренбург - 2000. С. 89-95.
2. Нестеренко Ю.М., Соломатин Н.В. О моделировании движения вод в зоне аэрации Южного Урала. Материалы международной конференции и научной сессии Горного института УрО РАН. Моделирование стратегии и процессов освоения Георесурсов. Пермь, 2003. С. 58-60.
3. Нестеренко Ю.М., Соломатин Н.В. Роль антропогенного фактора в формировании поверхностного и подземного стока вод в Оренбуржье. Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Проблемы геоэкологии Южного Урала». Оренбург: Изд. ОГУ, 2003, С.44-47.
4. Соломатин Н.В., Нестеренко Ю.М. Воздействие водообеспеченности на экосистемы Южного Урала в условиях техногенеза. Материалы III международного симпозиума «Степи Северной Евразии». Эталонные степные ландшафты: проблемы охраны, экологической реставрации и использования. Оренбург, 2003. С. 473-475.
5. Чубаров В.Н. Питание грунтовых вод песчаной пустыни через зону аэрации (механизм, методы изучения, оценка). М.: изд. «Недра», 1972, 136 с.

ГАЗОГЕОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПРИ РЕШЕНИИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ И ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

Использование газогеохимических методов для выяснения особенностей геолого-тектонического строения и масштабов техногенного воздействия инженерных объектов на геологическую среду связано с явлением дифференциации природного геохимического фона приповерхностной части разреза, связанной как с различием источников поступления газовых компонентов, так и интенсивности диффузионно-фильтрационного массопереноса. В качестве газов-индикаторов используются гелий, метан и его гомологи, диоксид углерода, аргон, кислород. В настоящее время различные модификации газовой съемки используются при нефтегазопроисследовательских исследованиях [2,3], картировании разломов и зон повышенной проницаемости осадочного чехла (зоны трещиноватости, гидрогеологические «окна» и т.п.) [4], выявления зон углеводородного загрязнения геологической среды.

В настоящее время по виду объекта опробования выделяют следующие виды газогеохимических исследований:

а) атмогеохимическая съемка – основана на измерении содержания углеводородных газов и диоксида углерода в подпочвенном воздухе с помощью специальных газоанализаторов.

Разработка в последние годы высокочувствительных модификаций подобных приборов (Ecorob-5, производство фирмы “RS DINAMICS Ltd, Чешская Республика), позволяющих производить экспресс-анализ подпочвенного газа на содержание углеводородов с чувствительностью $n \cdot 10^{-6} \%$, дает возможность расширить область практического использования этого метода, особенно в труднодоступных районах со сложными орографическими условиями.

б) грунтовая газогеохимическая съемка – производится опробование почвогрунтов на глубинах 0,5-3,5 м с последующим исследованием сорбированных ими газов;

в) гидрогазогеохимическая съемка – опробуются различные водопункты (родники, колодцы, скважины), характеризующие приповерхностную гидросферу (зону активного водообмена), и изучается компонентный состав водорастворенных газов. К числу недостатков данной разновидности газогеохимических исследований следует отнести неравномерный характер распределения по площади опробуемых родников, что может привести к трудностям в картировании морфологии аномальных участков.

Теоретической основой нефтегазопроисследовательских геохимических исследований является формирование в приповерхностной части разреза над залежами специфических ореолов рассеяния, отличающихся повышенными концентрациями гомологов метана и продуктов их окисления [3]. Несмотря на то что однозначное мнение об эффективности этих методов отсутствует вплоть до настоящего времени, они находят применение на уровне опытно-промышленных работ в различных нефтегазоносных провинциях [3], в том числе на территории Пермского Прикамья [2].

В период 1998-2004 гг. грунтовая газогеохимическая съемка на территории Пермской области проводилась Горным институтом УрО РАН на ряде объектов Верхнекамской впадины (Кленовская площадь) и Пермского свода (Батуйская площадь) в комплексе с сейсморазведкой. Анализ полученной газогеохимической

информации показал, что выявленные сейсморазведкой структуры характеризуются наличием участков повышенного содержания УВГ, в составе которых присутствуют гомологи метана до пентана включительно, что характерно для ореолов рассеяния залежей. Проявление аномалий носит мозаичный характер, что связано, по всей вероятности, с наличием зон повышенной проницаемости разреза, выделяемым по материалам дешифрирования АКГС. В общем случае они носят «кольцевой» характер – аномальные пробы приурочены к периферии структур.

Аналогичные газогеохимические исследования проведены на ряде региональных сейсмических профилей. На одном из них (Майкор – Бондюг) газогеохимическое опробование почво-грунтов впервые проведено в зимний период. Сопоставление результатов данной съемки с материалами аналогичных исследований, проведенных в летне-осенний период, показывает более высокую степень насыщенности углеводородами сорбированных газов приповерхностной части разреза, что может быть обусловлено как флюидоупорной ролью мерзлого слоя почв, так и со снижением интенсивности жизнедеятельности углеводородокисляющих бактерий в условиях отрицательных температур.

Оценка информативности газогидрохимических исследований может быть дана по результатам исследования состава водорастворенных газов (ВРГ) в районе известных нефтяных месторождений Соликамской впадины (Юрчукское, Чашкинское, Жилинское). Сопоставление этих данных с условно фоновыми родниками в долине р. Усолки показало, что ореолы рассеяния нефтяных залежей проявляются повышенным содержанием углеводородных компонентов, представленных гомологами метана до пентана включительно (табл.). При этом газовые аномалии в приповерхностной гидросфере носят, как правило, мозаичный характер – пробы с повышенным содержанием УВГ приурочены преимущественно к зонам повышенной трещиноватости, выделяемым по результатам аэрокосмогеологических исследований.

Таблица

Состав водорастворенных газов в районе нефтяных месторождений ВКМКС

Объект опробования	Содержание, объем. % * 10 ⁻³		
	СН ₄	ТУ пр.	ТУ непр.
Фоновые родники (район водозабора «Усолка»)	<u>0,09 – 39,8</u> 5,8	<u>0 – 2,2</u> 1,3	<u>0 – 2,8</u> 0,21
Родники и скважины в районе нефтяных месторождений	<u>0,7 – 243,0</u> 5,8	<u>0 – 18,3</u> 3,6	<u>0 – 5,5</u> 1,25
Наблюд. скважины, загрязненные БСВ	<u>6,6 – 61,0</u> 34,7	<u>3,8 – 13,1</u> 7,1	<u>0,7 – 5,6</u> 2,4
Буровые стоки из шламового амбара	12,6	4,0	6,3

Аналогичный характер проявления ореолов рассеяния в приповерхностной гидросфере зафиксирован в районе Ростовицкой нефтеперспективной структуры. Сопоставление результатов газогидрохимического опробования родников этого района, проведенного в 2001 и 2004 гг., показывает, что несмотря на значительное различие концентраций углеводородов в составе ВРГ, связанное с изменением режимов питания родников в эти годы, аномалии сохраняют свою конфигурацию.

Результаты проведенных газогеохимических исследований показывают, что в формировании структуры природного газового фона приповерхностной части разреза решающую роль играют поля естественных напряжений земной коры, контролирующие интенсивность субвертикального массопереноса УВГ из залежей. Особенно это проявляется для нефтяных месторождений Соликамской де-

прессии, наличие в разрезе которой мощной галогенной формации определяет слабую контрастность и прерывисто-дискретный характер аномалий «кольцевого» типа, связанных с зонами повышенной проницаемости осадочного чехла. Не исключено, что определенная часть газовых аномалий в приповерхностной части разреза может носить наложенный характер и обусловлена процессами выщелачивания галогенных формаций. Проведенные расчеты характера газонасыщения вод в результате растворения этих пород подтверждают реальность возможного влияния данного фактора на природный газовый фон надсолевого комплекса. Идентификация подобного рода аномалий возможна с привлечением данных по изотопному составу аргона: результаты расчетов с использованием констант фазового равновесия показывают, что появление в составе ВРГ радиогенного Ar^{40} , образующегося за счет радиоактивного распада K^{40} , может быть связано только с длительным выщелачиванием калийсодержащих минералов калийных руд, обеспечивающих постоянную его эмиссию в перекрывающие водоносные комплексы. Значительно меньшие концентрации данного газа-индикатора могут выделяться в приповерхностную гидросферу за счет тектонической нарушенности калийных пластов, что ограничивает его эффективность при контроле за поведением ВЗТ Верхнекамского месторождения [1].

Значительно сложнее обстоит дело с интерпретацией генезиса газовых аномалий в пределах эксплуатируемых нефтяных месторождений. Результаты режимных эколого-гидрогеологических наблюдений в районах буровых работ и действующих нефтепромысловых объектов показали, что формирование локальных аномалий УВГ в приповерхностной гидросфере может быть связано как с дегазацией разбуриваемых пород, так и с фильтрацией стоков из поверхностных котлованов. Последнее явление может привести к поверхностному «заражению» вод углеводородными газами, в составе которых присутствуют в повышенных концентрациях тяжелые предельные и непредельные УВ (табл.). В отдельных случаях данные процессы формируют в водоносных горизонтах «наложенные» газогидрохимические аномалии, разубоживание которых до естественного фона может носить длительный характер. Отличительной особенностью техногенных газовых аномалий поверхностного происхождения является повышенное содержание в их составе непредельных углеводородов, отражающее, по всей вероятности, процессы бактериального преобразования органических соединений буровых стоков.

Полученные результаты заставляют пересмотреть принятые ранее взгляды о формировании газогидрохимического фона приповерхностной гидросферы только за счет глубинных факторов и подходить с определенной осторожностью к интерпретации этой информации при режимных гидрогеологических исследованиях, проводимых на территории ВКМКС в целях косвенного контроля за наличием вертикальных перетоков глубинных флюидов из подсолевой части разреза согласно «Правилам промышленной безопасности при освоении месторождений нефти на площадях залегания калийных солей» (2002).

Использование газогеохимической съемки для оконтуривания зон нефтяного загрязнения грунтовых вод апробировано на примере Полазненского и Краснокамского месторождений, где зафиксированы поверхностные нефтепроявления в районе ликвидированных эксплуатационных скважин. Результаты проведенных исследований подтверждают высокую информативность газогеохимических исследований при выявлении источников поступления нефти в приповерхностную гидросферу и картирования сформировавшихся в ней техногенных линз нефти.

Таким образом, обобщение опыта проведения различных модификаций газогеохимических исследований на территории Пермского Прикамья показывает, что данный метод обладает высокой эффективностью при решении широкого спектра геологических и геоэкологических задач. Вместе с тем, многообразие факторов, влияющих на приповерхностный газовый фон, и сложная мозаичная морфология газовых аномалий, обусловленная различной интенсивностью диффузионно-фильтрационного массопереноса компонентов, требует осторожного подхода к интерпретации геохимической информации с привлечением, в случае необходимости, материалов дополнительных геолого-геофизических исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Информативность газогеохимических исследований при оценке состояния водозащитной толщи на Верхнекамском месторождении калийных солей / Б.А. Бачурин, В.М. Новоселицкий, В.В. Таркашев и др. // Геология и разведка нефтяных и газовых месторождений: Межвуз. сб. науч. трудов. Пермь, 1991. С. 95-101.

2. Оценка нефтегазоносности локальных объектов Приуралья по биогеохимическим критериям // А.А.Оборин, М.А. Шишкин, Б.А. Бачурин и др. Свердловск: УрО АН СССР, 1988. – 124 с.

3. Физико-химические основы прямых поисков залежей нефти и газа / Под ред. Е.В. Каруса. М.: Недра, 1986. – 336 с.

4. Яницкий И.Н. Гелиевая съемка. М.: Недра, 1979. – 96 с.

В.А. Шатов

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ В РАЙОНАХ НЕФТЕДОБЫЧИ НА ТЕРРИТОРИИ ВЕРХНЕКАМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ

Специальные гидрогеологические наблюдения за техническим состоянием глубоких нефтяных скважин, эксплуатирующих подсолевые залежи углеводородов, проводятся на территории ВКМКС институтом ПермНИПИнефть с 1978 года.

Основным объектом гидрогеологических наблюдений является надсолевая толща, сложенная отложениями верхнепермского возраста (шешменский и соликамский горизонты). По гидродинамическим и гидрохимическим признакам она включает в себя зоны активного и затрудненного водообмена подземных вод с земной поверхностью, которые надежно изолированы от нижележащих подсолевых нефтегазоносных комплексов мощной соленосной толщей кунгурского возраста.

Анализ результатов многолетних гидрогеологических наблюдений за химическим и микрогазовым составом подземных вод надсолевой толщи показал, что для повышения их эффективности требуется совершенствование методики данных исследований применительно к различным объектам исследований – пресным подземным водам и рассолам.

Колебания уровней подземных вод зоны активного водообмена достигают десятков метров, что обусловлено тесной их связью с естественным гидрологическим режимом поверхностной гидросферы (рис.1). В «рассольном» горизонте изменения уровней имеют менее выраженный характер (рис. 2). Поэтому предлагается на нг-скважинах, пробуренных на «рассольный» горизонт, замер уровня вод производить ежегодно.

В результате статистической обработки гидрохимических данных (табл.1, 2) установлено, что на химический состав пресных подземных вод существенное влияние оказывают нескольких факторов (инфильтрации, растворение цемента песчаников), в то время, как формирование состава солёных вод и рассолов определяется одним фактором – растворением соледержащих пропластков. Периодическое появление растворённого органического вещества и микрокомпонентов (NH_4 , Br) в пресных подземных водах носит дискретный характер (табл. 3).

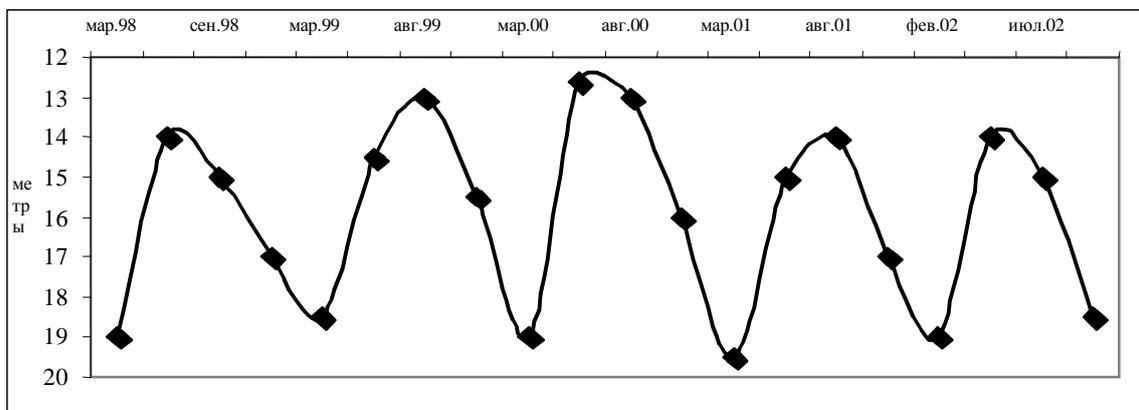


Рис.1 Изменение уровня воды в нг-скважине, пробуренной на подземные воды зоны активного водообмена

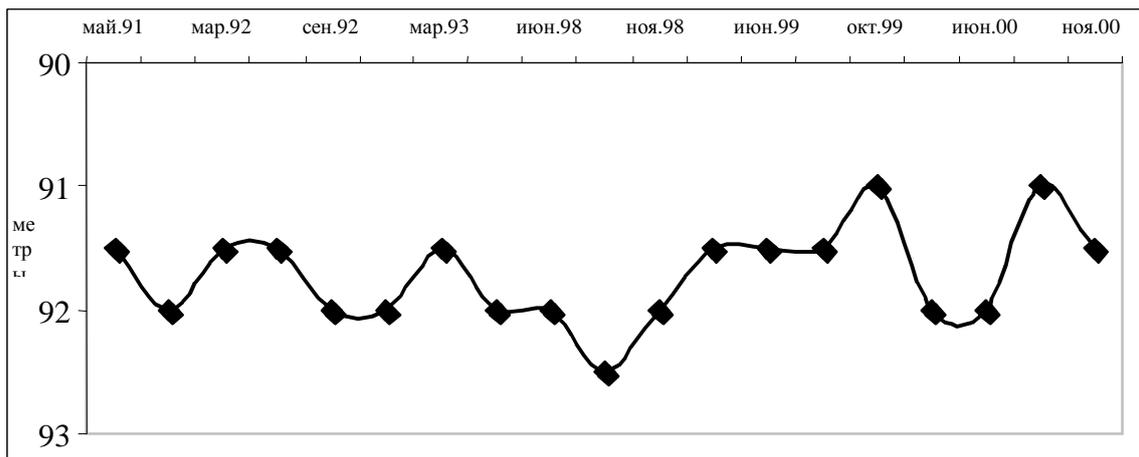


Рис.2. Изменение уровня воды в нг-скважине, пробуренной на подземные воды зоны затруднённого водообмена

Таблица 1

Корреляционная матрица компонентов ионно-солевого состава
пресных подземных вод

	Cl	SO ₄	HCO ₃	Ca	Mg	Na+K	OM
Cl	1,00	0,53	0,91	0,98	0,31	-0,75	0,98
SO ₄	0,53	1,00	0,68	0,59	0,24	-0,27	0,65
HCO ₃	0,91	0,68	1,00	0,94	0,39	-0,65	0,97
Ca	0,98	0,59	0,94	1,00	0,20	-0,80	0,99
Mg	0,31	0,24	0,39	0,20	1,00	-0,10	0,30
Na+K	-0,75	-0,27	-0,65	-0,80	-0,10	1,00	-0,70
OM	0,98	0,65	0,97	0,99	0,30	-0,70	1,00

Таблица 2

Корреляционная матрица компонентов ионно-солевого состава
подземных рассолов

	Cl	SO ₄	HCO ₃	Ca	Mg	Na+K	OM
Cl	1,00	0,04	0,20	0,13	-0,07	1,00	1,00
SO ₄	0,04	1,00	0,21	-0,09	-0,07	0,04	0,05
HCO ₃	0,20	0,21	1,00	-0,28	-0,17	0,19	0,20
Ca	0,13	-0,09	-0,28	1,00	-0,23	0,12	0,13
Mg	-0,07	-0,07	-0,17	-0,23	1,00	-0,07	-0,07
Na+K	1,00	0,04	0,19	0,12	-0,07	1,00	1,00
OM	1,00	0,05	0,20	0,13	-0,07	1,00	1,00

Таблица 3

Корреляционная матрица показателей ионно-солевого и микрокомпонентного
состава пресных подземных вод

	НП	бензол	толуол	NH ₄	Br	H ₂ S
Cl	-0,07	0,59	0,07	0,30	0,47	-0,12
SO ₄	0,08	0,36	-0,04	0,24	0,32	0,01
HCO ₃	-0,06	-0,08	0,17	-0,11	-0,24	-0,48
Ca	-0,12	0,04	0,15	0,02	-0,09	-0,46
Mg	-0,10	-0,02	0,06	0,12	0,32	-0,37
Na+K	0,19	0,21	0,37	-0,08	-0,21	-0,04
OM	-0,02	0,11	0,22	-0,01	-0,11	-0,46

Примечание: OM – общая минерализация; НП – нефтепродукты

Статистическая обработка имеющейся информации показала, что комплекс гидрогеохимических наблюдений за подземными водами «рассольного» горизонта можно ограничить определением водорастворенных углеводородов (газообразных и ароматических) и хлор-иона при постоянном сопоставлении фактических концентраций последнего с выявленной зависимостью от общей минерализации вод.

ОПЫТ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НА ДЕЙСТВУЮЩИХ ГОРНОРУДНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Гайский ГОК, одно из крупнейших горнорудных предприятий на Южном Урале по добыче и переработке медно-цинковой руды, существенно влияет на экологическую обстановку как непосредственно на площади добычи полезных ископаемых (свыше 4 км²), так и прилегающей территории размещения производственных объектов и соседних земель (около 60 км²). Программа геологического мониторинга, в разработке которой принимал участие автор, создавалась почти после 40 лет работы комбината и должна была учитывать сложившуюся систему изолированных наблюдений, проводившихся различными службами ГОК. Она включала как решение вопросов проведения наблюдений и сбора информации, так и ее обработки и прогнозирования.

При формировании программы, по результатам анализа сложившейся на ГОК неблагоприятной экологической обстановки, в первую очередь следовало учесть местные особенности, выявить важнейшие факторы загрязнения водной среды и предусмотреть такой объем мониторинга, который бы позволил прогнозировать вероятные неблагоприятные последствия.

Основным источником загрязнения окружающей среды на ГОК являются отвалы пустых пород и некондиционных руд, занимающие площадь 4,5 км², содержащие пирит, а также халькопирит и сфалерит. Под ними сформировался техногенный водоносный горизонт с высокоминерализованными (35 – 41 т/л) подотвальными кислыми водами, подтопившими в смеси с разбавленными фильтрационными водами, осадками и поверхностным стоком приотвальные участки. В процессе фильтрации атмосферных осадков в кислородной среде сульфиты в отвалах окисляются, обогащая подземные воды техногенного горизонта железом, сульфатами, медью, цинком, серной кислотой. Последняя растворяет и разрушает алюмосиликаты в породах и насыщает подотвальные воды алюминием, железом, кальцием, магнием, тяжелыми металлами. За счет этого не только растет их минерализация, но подземные воды становятся сильнокислыми (рН = 2-3), железистыми (Fe >100 мг/л), ультрасульфатными. Отмеченное в период 1980 -1998 гг. поступление кислых подотвальных вод на водосборы притоков Урала рек Елшанка и Колпачка, резко ухудшило качественный состав этих водотоков и создало угрозу загрязнения реки Урал. Отвалы образовались в результате разработки двух карьеров глубиной 300 и 380 м, соединяющихся штольной с подземным рудником, который также был источником кислых рудничных вод. Неблагоприятно влияли на экологическую обстановку водные объекты комбината – пруды кислых и осветленных вод, хвостохранилище, водоемы для сбора подотвальных вод, хотя все они были возведены на глинистом основании с уплотненной противофильтрационной подушкой.

При создании и адаптации программы мониторинга учитывалось, что разработка Гайского медно-колчеданного месторождения ведется с 1962 г., вначале, в основном, открытыми карьерами, а затем только подземным рудником. Сложилась система использования кислых вод путем перекачки их из рудника и карьеров. Водный режим поверхностных водотоков (рек Елшанка, Ташкут, Колпачка) испытал мощное дренирующее воздействие глубоких карьеров, которыми срединированы, помимо грунтовых вод в делювии, юрский и частично среднедевонский водоносные горизонты [1]. Первоначальная сеть наблюдательных скважин и

гидрометрических постов на территории ГОКа заложена в 1996 – 1997 гг. уже в условиях измененного уровня и химического режимов как подземных, так и поверхностных вод и серии мероприятий по предотвращению загрязнения водной среды (внедрение оборотного водоснабжения и уменьшение сбросов в ручей Ташкут, сбор и перекачка подотвальных вод в пруд кислых вод, сбор и перекачка талых вод, прекращение сброса кислых вод по р. Елшанка, борьба с подтоплением поселков Камейкино и Калиновка и др.). Поэтому сложившаяся на ГОКе система контроля за водной средой и наблюдений за возможными источниками загрязнения и подтопления была принята за исходную позицию, требующую дальнейшего развития.

Имевшаяся наблюдательная сеть скважин контролировала основные объекты загрязнения (обоганительная фабрика, хвостохранилище, пруды кислых и очищенных вод, пруды-накопители и др.), однако створы скважин не были доведены непосредственно до потенциальных источников загрязнения, что затрудняло прогнозы; это потребовало продлить створы к водоемам. В программе учтено, что при изменении условий загрязнения, подтопления и других последствий разработки Гайского месторождения (перенос хвостохранилища из пруда в глубокий карьер № 2, прекращение сбросов в р. Ялангас) объемы и методы контроля должны трансформироваться в соответствии с переменами, т.е. система мониторинга должна быть гибкой.

Существовавшая система учета собираемых рудничных и карьерных вод, оценки их качества была сохранена, а данные контроля должны были учитываться службой мониторинга ГОКа в прогнозах и расчетах. Это также относилось к наблюдениям за пьезометрами на дамбе хвостохранилища, контролю за УГВ и химическим составом вод на ТЭЦ, маркшейдерским наблюдениям на оползневом участке на северо-западном борту карьера № 1. Все эти наблюдения преследовали практические цели на конкретных объектах, оперативно реагировали на неблагоприятные изменения природной среды с целью сохранения сооружений и были включены в общую программу работ. В процессе мониторинга должны были не только фиксировать, но и выявить причину аномальных проявлений в режиме подземных, поверхностных и рудничных вод.

В отличие от нормативов [2], в сложившихся условиях было признано нецелесообразным строительство региональных створов скважин через все месторождение, но помимо имевшихся пунктов наблюдений на конкретных уже известных объектах – источниках загрязнения водоносных горизонтов – были предусмотрены и построены дополнительные наблюдательные скважины с учетом назревших и прогнозируемых изменений. При разработке программы были проанализированы результаты мониторинга на территории Гайского ГОКа, позволившие установить причины подтопления ряда объектов, закономерности фильтрационного режима прудов, динамику химического состава подземных и поверхностных вод и др.; с учетом накопленного опыта была откорректирована периодичность наблюдений. В частности, было установлено, что изменения содержания нормируемых компонентов и загрязнителей (рН, Fe, Mn, Cu, Zn, Al, сульфаты, нефтепродукты) в воде носят случайный характер, не имеют закономерного систематического тренда и поэтому их концентрация может быть найдена методом доверительного интервала. Определено, что из прудов кислых и осветленных вод, хвостохранилища, из прудов-накопителей подотвальных вод отбор проб и гидрохимические анализы следует выполнять еже-

месячно, из поверхностных водотоков – рек Урал, Колпачка, Елшанка, Ялангас, Ташкут, Сух. Губерля – через 2 месяца, из грунтовых вод на территории пос. Камейкино и Калиновка, на участке ТЭЦ – 2 раза в год. Дифференцированный подход, основанный на анализе ранее проводившихся наблюдений, был применен на всех объектах Гайского ГОК. Так, контроль за состоянием склонов, охваченных оползневыми смещениями и угрожавших обогатительной фабрике и шахте, учащался в весенний период, особенно в многоводные годы. Был предусмотрен комплексный подход к мониторингу, при которых результаты гидрогеологических, гидрологических и инженерно-геологических наблюдений взаимно увязывались с учетом динамики метеорологических, производственных и других показателей.

В соответствии с программой режимные скважины и др. пункты наблюдений были защищены от несанкционированного доступа, имели инструментальную плановую и высотную привязку, периодически проверялась эффективность работы пьезометров.

В течение пяти лет программа геоэкологического мониторинга внедряется на Гайском ГОК и продолжает использоваться практически без корректировки. Результаты мониторинга позволили наметить и выполнить на ГОК ряд природоохранных мероприятий, в т.ч. сбор в пруды-накопители всех сильноокислых подотвальных вод с последующей перекачкой их в пруд кислых вод, что позволило не только предотвратить дальнейшее загрязнение верховье рек Колпачка и Елшанка, но и почти полностью восстановить начальную экологическую обстановку. Увеличение объема использования оборотных вод привело практически к прекращению сбросов загрязнителей в реки Ялангас и Сух. Губерля, что улучшило качество воды во всех поверхностных водотоках. Прекращено наращивание отвалов, т.к. пустая порода уходит на заделку отработанных выработок подземного рудника. Перенос хвостохранилища в отработанный карьер решает проблему поисков емкости для отходов на обозримую перспективу с одновременным предотвращением подтопления окружающих территорий. Для недопущения попадания талых вод в пруды-накопители подотвальных вод и их переполнения был организован их сбор в выработанные карьеры. Опыт мониторинга на Гайском ГОК показал, что сокращение технологических потерь на всех этапах производства рудного концентрата, комплексное использование сырья, утилизация отходов, обратное водоснабжение, прекращение сбросов в речную сеть и ее восстановление в качестве природных дрен подземных вод позволяют заметно уменьшить отрицательное воздействие горнорудных предприятий на природную среду.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сквалецкий Е.Н. Паршин Н.П. Гидрогеолого-экологические прогнозы в связи с разработкой медно-колчеданных месторождений Домбаровского рудного района Урала // Проблемы геоэкологии Южного Урала: Материалы Всероссийской науч.-практической конф. Оренбург: Изд. ОГУ, 2003. С 175 – 179.
2. Требования к мониторингу месторождений полезных ископаемых МПР РФ. М, 2000. 30 с.

ЭКОГЕОХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ-ПРИМЕСЕЙ В ОТХОДАХ УГЛЕДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Отходы угледобывающей промышленности являются одним из наиболее мощных источников поступления в биосферу широкого спектра соединений, многие из которых представляют значительную экологическую опасность [1]. В настоящее время, благодаря развитию методик химико-аналитических исследований и высокой чувствительности применяемой аппаратуры в отходах угледобывающей промышленности, наряду с основными элементами органического вещества углей и минеральными макроэлементами (Si, Al, Fe и др.), обнаружено около 60 элементов, относящихся к I-III классам опасности. Вместе с тем, формы нахождения в них различных элементов и их геохимическая подвижность, которые, в сущности, и определяют степень негативного воздействия данных отходов на экологическую обстановку регионов, в настоящее время практически не изучены.

Исследование характера распределения элементов-примесей между различными фракциями минеральной матрицы угледобывающих отходов проведено на примере Кизеловского угольного бассейна. Несмотря на то, что к настоящему времени все шахты данного бассейна ликвидированы, источники загрязнения окружающей среды продолжают функционировать: на его территории размещены 53 породных отвала, которые под влиянием внешних факторов (физическое выветривание, окисление, гидролиз и т.п.) формируют техногенные потоки рассеяния широкого спектра поллютантов.

Исследование валового содержания тяжелых металлов (ТМ) в породных отвалах, дающее сведения о потенциальных запасах данной группы экотоксикантов, показало, что доминирующими компонентами минеральной матрицы отходов являются Ва (0,30-0,50 г/кг), Zr (0,40-0,60 г/кг), Cr, V, Sr и Y (90-200 мг/кг). При этом по большинству ТМ, за исключением Cu, Pb, V и Zn, их валовое содержание в рассматриваемых отходах ниже значений ПДК, принятых для почв.

Таблица

Содержание тяжелых металлов (мг/кг) в твердых отходах угледобычи
Кизеловского бассейна

Ba	Zr	Cr	Sr	V	Mn	Y	Cu	Zn	Nb	Pb	Ni	Co	Cd	Ge	Be
<u>432</u>	<u>510</u>	<u>170</u>	<u>162</u>	<u>140</u>	<u>100</u>	<u>85</u>	<u>74</u>	<u>56</u>	<u>54</u>	<u>40</u>	<u>20</u>	<u>5</u>	-	<u>0,9</u>	<u>3,7</u>
-	-	13	9	-	11	-	13	10	-	10	6	2	1,6	-	-

В числителе – валовое содержание (спектральный анализ); в знаменателе – содержание миграционно-способных соединений, включая «потенциально-подвижные» формы (атомно-абсорбционный анализ); прочерк - сведения отсутствуют.

Статистическая обработка данных по валовому содержанию ТМ выявила существование в угледобывающих отходах геохимической ассоциации элементов Fe–Ni–Zn–Co–Cu, имеющих между собой тесную взаимосвязь, что подтверждает общий источник их поступления.

В качестве геохимических показателей, характеризующих степень накопления в отходах отдельных металлов и их ассоциаций, использованы коэффициенты концентрации (K_k – показатель кратности превышения концентрации элемента над его фоновым содержанием) и суммарный показатель загрязнения (Z_c – аддитивная сумма превышений коэффициентов концентраций элементов).

Расчеты показывают, что суммарный показатель загрязнения по валовому содержанию ТМ в породных отвалах Кизеловского месторождения находится в диапазоне 34,6–82,8, что по существующей градации характеризует высокий уровень загрязнения. При этом основными аномалиеобразующими компонентами-загрязнителями угледобывающих отходов являются Cu, Pb, Ba, Sr, Ag, Sn, Be, Y, Ge и Nb ($K_k = 2,0-10,8$). Высокое содержание представленных металлов в валовой форме показывает на потенциальную возможность их поступления в природные геосистемы преимущественно за счет атмосферного переноса пылевых частиц и накопления в верхних горизонтах почвенного покрова, выступающего в качестве долговременно депонирующей среды. Вместе с тем, необходимо отметить, что валовое содержание ТМ не позволяет судить о геохимической подвижности данных поллютантов и их возможном влиянии на растительность и биогеоценозы почв.

Для оценки миграционных свойств, содержащихся в твердых отходах угледобычи ТМ было проведено исследование содержания в них кислоторастворимых (извлекаемых горячим раствором азотной кислоты), доступных растениям (извлекаемых ацетатно-аммонийным буферным раствором, имитирующим действие почвенных вод) и водорастворимых (экстракция бидистиллятом) форм. Вытяжки, полученные данными экстрагентами, дают достаточно полную информацию не только о формах нахождения в отходах элементов-примесей, но и позволяют судить об их участии в миграционных потоках рассеяния [2].

Характер распределения ТМ между различными фракциями минеральной матрицы исследованных отходов Кизеловского угольного бассейна представлен на рисунке.

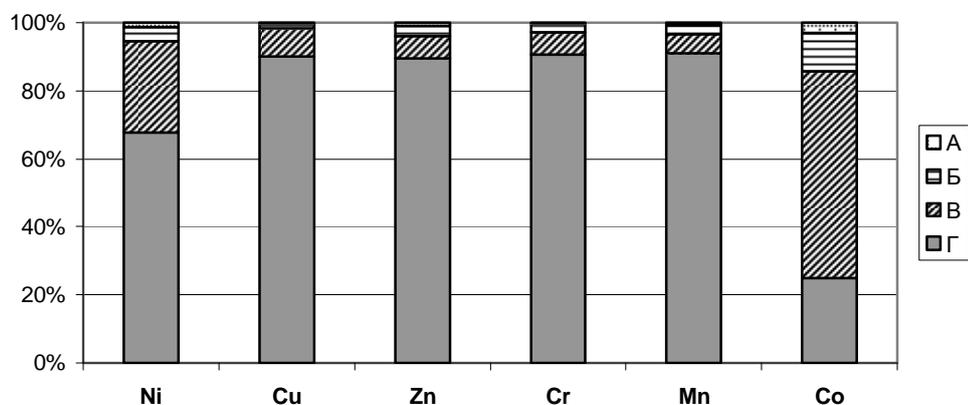


Рис. Характер распределения металлов в угледобывающих отходах

А – водорастворимая форма; Б – ионно-обменная форма; В – фракция металлов, связанная с оксидами и сульфидами; Г – фракция минерального остатка отходов

Оценка характера распределение металлов по выделенным фракциям отходов проведена по разности концентраций валовых и кислоторастворимых форм (фракция Г), кислоторастворимых и доступных растениям форм (фракция В), подвижных и водорастворимых форм (фракция Б).

По данным атомно-абсорбционного анализа, породы угольных отвалов достаточно неоднородны по содержанию кислоторастворимых форм ТМ: так, доля данных форм железа варьирует от 5,91 до 169,62 г/кг; меди – от 4,94 до 110,20 мг/кг. По среднему содержанию данной формы ТМ в исследованных отходах Ки-

зеловского бассейна металлы убывают в следующей последовательности: Fe (9,2 г/кг) >> Cr > Cu > Mn > Zn > Pb > Sr > Ni > Co > Cd (1,6 мг/кг) (табл.).

Результаты анализов показывают, что из числа ТМ, присутствие которых установлено в отходах угледобычи, особого внимания требуют кобальт и никель. Значительная часть данных элементов-примесей находится в геохимически активных соединениях (61 и 27% от общего содержания соответственно) и вследствие этого обладает повышенной миграционной способностью. Остальные исследованные металлы (Cu, Zn, Mn, Cr) на 90% связаны с силикатным химически инертным остатком минеральной матрицы пород, и из отходов способна выщелачиваться лишь малая часть данных соединений.

По среднему содержанию в отходах ацетатно-аммонийных форм ТМ, отражающих наиболее реальные количества соединений, доступных растениям и почвенным биогеоценозам, металлы располагаются в следующем ряду: Fe (402 мг/кг) >> Mn > Sr > Cr > Zn > Cu > Ni > Pb > Co > Cd (0,4 мг/кг). Сопоставление с принятыми значениями ПДК для почв показало, что для большинства ТМ концентрация их подвижных соединений в отходах значительно ниже принятых экологических нормативов (превышение ПДК зафиксировано только в нескольких пробах по Cr и Cu).

Для характеристики потенциальной экологической опасности отходов угледобывающей промышленности были введены такие понятия, как коэффициенты подвижности и растворимости ($K_{п}$ и $K_{р}$): чем выше данные показатели, тем большее количество ТМ способно участвовать в техногенных потоках рассеяния и поступать в природные геосистемы. Полученные данные свидетельствуют, что содержащиеся в отходах угледобычи микроэлементы значительно различаются по характеру геохимической подвижности и миграционной способности: максимальное значение $K_{п}$ имеет никель – в среднем 6% от его валового содержания способно выщелачиваться и поступать в биоту; доля миграционно способного стронция, относящегося к категории наименее подвижных микроэлементов, не превышает 0,13%. Вместе с тем, необходимо отметить, что, по данным экспериментального моделирования многократного растворения отходов водой, доказано, что происходящая в результате этих физико-химических процессов перестройка минеральной матрицы отходов может значительно увеличивать подвижность широкого спектра ТМ.

Таким образом, проведенные исследования показывают, что экологическая опасность элементов-примесей во многом зависит от форм их нахождения в отходах угледобычи, определяющих интенсивность их выщелачивания из пород и возможные масштабы перехода в водную фазу. При этом гигиенической оценке должны подвергаться, в первую очередь, миграционно способные формы ТМ, относящиеся к категории геохимически активных соединений и характеризующие потенциальный состав техногенных потоков рассеяния.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Солнцева Н.П., Никифорова Е.М. Влияние техногенных потоков на геохимию лесных почв (в связи с угледобычей) // Добыча полезных ископаемых и геохимия природных экосистем. М.: Наука, 1982. С.82-119.
2. Антипов М.А., Голицин М.С. Подвижные формы тяжелых металлов в почвах и грунтах зоны аэрации // Геоэкологические исследования и охрана недр. М.: ООО «Геоинформцентр», 2002. – 64 с.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТ ГРУППЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ МИНЕРАЛОГИИ

Исследования проводились по двум направлениям:

1. Фундаментальное направление

1.1. Продолжение исследований минералогии и геохимии Au, Pt, Pd в соляных породах Верхнекамского месторождения, включающее изучение форм их нахождения;

2. Прикладное направление

2.1. Изучение вещественного состава глинисто-солевых отходов (шламов);

2.2. Разработка и создание обогатительной установки для разделения твердо-фазно-солевых суспензий;

2.3. Разработка промышленной технологии извлечения благородных металлов на укрупнено-лабораторной пробе шламов галургической фабрики БПКРУ-1.

1. Результаты работ по первому направлению

Исследования, связанные с изучением Н.О. соляных пород и шламов выявили интересную закономерность. При анализе проб Н.О. сразу после его выделения и после длительного хранения (0,5-2 года) разница в содержании благородных металлов составила 1-2 порядка в сторону уменьшения. Это осложнило проведение анализов, предваряющих технологические испытания. Был проведен цикл работ с применением различных методов анализа и методик разложения проб.

Проведенные исследования позволили получить следующие результаты:

1. Установлено, что при отделении Н.О. от солевой матрицы со временем происходит преобразование структуры и состава органических соединений Pt, Pd и соединений Au, их агрегация и блокирование кремнеземно-силикатной оболочкой. Установлено также, что присутствие техногенной органики (амины, полиакриламида) форсирует и интенсифицирует этот процесс. Как следствие этих процессов не работает методика опробования (аналитическая), т.к. либо благородные металлы не попадают в пробу, либо, попадая в пробу, они блокированы и не могут быть извлечены в анализируемый раствор. Поэтому корректный анализ исходного материала проб невозможен;

2. Масс-спектрометрическим анализом (ИСП-МС) установлено, что в Н.О. соляных пород и шламов присутствуют Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Rb, Zr, Cd, Sn, Sb, La, Nd, V, и некоторые др., в количестве, часто превышающем количество Au, Ag, Pt, Pd. При разложении пробы, для анализа в «жестких» условиях (в автоклаве и с применением царской водки) и при технологическом переделе (обжиг в шахтной или вращающейся печи в присутствии хлорида Na) и выщелачивании огарка кислотами, все эти металлы «выходят» в раствор. Наличие их в растворах увеличивает неселективное поглощение при анализе методом ААС и вызывает наложение масс-спектров при анализе методом ИСП-МС. Это приводит к искажениям в определении содержания Au, Ag, Pt, Pd.

Предложена следующая методика исследований. Из испытуемой пробы отбираются навески массой от 2-3 до 20-30 кг. Каждая из этих навесок подвергается технологическому переделу (в нашем случае это обжиг), затем огарки обрабатываются слабыми растворами кислот (это могут быть H_2SO_4 и HCl и царская водка). После выщелачивания огарков анализируется уже продуктивный раствор. Это позволяет повысить представительность исходного материала (обычно при анализе используются навески 1-30 г.) и оценить технологические свойства сырья по

реальному извлечению Au, Pt, Pd. С другой стороны, возможно, сразу оценить возможности нескольких методов передела исходного материала.

При анализе растворов применялось предварительное сорбционное концентрирование, с последующим сжиганием сорбента, растворением зольного остатка и анализом полученного раствора несколькими методами (ЭТААС, ИСП-АЭС и ИСП-МС). Результаты анализа свидетельствовали о наличии в растворах достаточно высоких содержаний благородных металлов, но не соответствующих заявленным ранее [1-3]. Было проведено сорбирование на промышленный сорбент из большого количества продуктивного раствора. После этого сорбент был высушен и сожжен. Зольный остаток был, подвергнут восстановительной плавке под флюсом в индукционной печи и получен королек, в котором было зафиксировано искомое содержание Au, Pt, Pd, Ag. Затем, исходя из веса королька и содержания в нем благородных металлов, был проведен весовой анализ и рассчитано извлечение из тонны Н.О. шлама. Этот цикл методических приемов получил название «технологического анализа».

Для анализа исходного сырья предложен к разработке метод твердофазного анализа рентгеноспектральными методами (рентгено-флюоресцентный и рентгенорадиометрический).

2. Результаты работ по второму направлению

2.1. Изучение вещественного состава глинисто-солевых отходов (шламов) калийных предприятий Верхнекамья, как источника благородных металлов;

Проводилось сравнение анализов шламов галургической фабрики БПКРУ-1 отобранных в 2000 г. и повторных анализы этих же шламов в 2004 г. (табл.1).

Таблица 1

Содержание Au, Pt, Pd в Н.О. шламов галургической фабрики, г/т

№ пробы. Время анализа	Au	Pt	Pd
БТ-34, анализ 2000 г.	0,57	9,6	1,6
БТ-34, анализ 2004 г.	0,06	0,05	0,6

Как видно из табличных данных анализа 2000 и 2004 гг. отличаются на 1-2 порядка, что подтверждает указанные выше причины этого явления.

Рассмотрим минеральный состав шламов 2000 и 2004 г.

Таблица 2

Минеральный состав Н.О. шламов обогатительных фабрик

Минералы	1999 г.			2004 г.
	Галургическая	Флотационная	Карналлитовая	Галургическая
Ангидрит	36,8	31	14	13
Гипс	6,9	12	12	42
Доломит	4,6	7	5,6	5
Кварц	19,5	20	28	13
П.шпаты	21,9	20	24	9
Хлорит	2,3	2	2,8	-
Гидрослюда	1,2	1	-	1
Каолинит	-	-	-	11
Гематит	сл.	сл.	-	2
Гетит	2,4	-	сл.	сл.
Лепидокрокит	-	-	4,8	-
Органика	1,5	1,7	1,2	3

Видно, что основное отличие шламов 2004 г. – в 2 раза большее количество органики.

Рассмотрим состав органического вещества (ОВ) в Н.О. соляных пород и Н.О. шламов. Природная органика это тяжелые углеводороды и битумоиды хлороформенные (ХБ) и спиртобензолные (СББ), с которыми связаны Pt и Pd.

Общее количество природной органики в соляных породах составляет не более 0,5%. Остальная ее часть в шламах техногенная. Поэтому увеличение общего количества органики в шламах 2004 г. в два раза, означает, что техногенной органики больше в три раза. Основной техногенный компонент в галургических шламах это полиакриламид, по роду действия это флокулянт и используется для укрупнения «глинистых» частиц в шламах и сгущения последних. Кроме того, в шламах галургической фабрики БПКРУ-1 содержится около 0,007% амина.

Таким образом, отмечены два фактора, которые могут влиять на определение содержания Au, Pt, Pd в Н.О. шламов. Это преобразование ХБ и СББ битумоидов в течение длительного времени в составе Н.О., при отсутствии хлоридной матрицы. Во вторых, это изменение состава шламов, связанное с присутствием «излишнего» количества техногенной органики. Рассмотрим механизм воздействия органики.

Поскольку амины это собиратели, то они могут собирать и ХБ и СББ-битумоиды, как наиболее «подвижную» часть ОВ и с большей скоростью, чем сами частицы шламов. Полиакриламид служит для укрупнения частиц в шламах. В результате получается селективная агрегация ХБ и СББ-битумоидов вместе с Pt-металлами на фоне общего укрупнения частиц шламов. Т.е. происходит обеднение основного объема шламов по Pt и Pd и концентрирование последних в локальных обособлениях.

Кроме того, в шламах, возможна миграция ХБ и СББ битумоидов вместе с Pt-металлами под действием гравитации в нижние слои столба Н.О. шламов.

Если в свежем шламе частицы Н.О. могут содержать в основном адсорбированную органику и в меньшей степени абсорбированную, то при воздействии (комплексном) аминов и полиакриламида могут образовываться более сложные агрегаты. В этом случае основная часть ХБ и СББ битумоидов вместе с соединениями Pt, Pd и частью общего ОВ заключены внутри агрегатов, блокированы кремнеземн-силикатной оболочкой (кварц и полево шпат, каолинит). При обжиге происходит образование «брони» (кремнеземной оболочки), которая препятствует реакции соединений Au, Pt, Pd с хлоридным и сульфидизирующим агентами. В этом случае необходимо жесткое воздействие (хлоридовозгонный обжиг), чтобы «взорвать» эту оболочку и реализовать возможность образования кислоторастворимых хлоридных соединений Au, Pt, Pd.

Изложенный материал позволяет считать, что в Н.О лишенном хлоридной матрицы начинаются процессы преобразования и(или) блокирования соединений ОВ содержащих Au, Pt, Pd. Наличие же техногенной органики и тем более излишнее ее количество форсирует и интенсифицирует этот процесс.

2.2. Разработка и создание обогатительной установки для разделения твердофазно-солевых суспензий;

Разработка и создание обогатительной установки является одной из основных задач для успешного проведения опытно-промышленных испытаний. Содержание 2-о этапа исследований (2005-2006 г.) – составление исходных данных для опытно-промышленного или экспериментального проектирования. В конце этого этапа должна быть создана макетная модель обогатительной установки. К настоящему времени сотрудником группы ТМ разработана принципиальная аппа-

ратно-технологическая схема обогатительной установки и показаны типы и количество гидроциклонов, для обогащения шламов. Процесс обогащения, на лабораторном уровне, был отработан и запатентован [4]

2.3. Разработка промышленной технологии извлечения благородных металлов на укрупнено-лабораторной пробе шламов галургической фабрики БПКРУ-1 ОАО «Уралкалий»

С учетом результатов минералого-аналитических и минералого-технологических исследований (приведенных выше) было проверено (испытано) 6 способов технологического передела Н.О. шламов на навесках по 2 кг. По результатам этих испытаний было выделено 3 наиболее эффективных способа и проведены испытания на навесках по 20 кг. В результате была получена информация о наиболее благоприятных режимах переработки Н.О. шламов в условиях преобразования (блокирования) соединений Au, Pt, Pd. После этого были выполнены работы по получению опытного образца (коллективного концентрата благородных металлов). Для получения опытного образца переработано 200 кг Н.О. шламов способом высокотемпературного хлорирующего обжига. Проведено выщелачивание огарка растворами соляной кислоты и царской водки. Из полученных продуктивных растворов проведена сорбция благородных металлов на сорбент АМ-2Б. Проведено озоление сорбента. Зольный остаток подвергнут восстановительной плавке под флюсом в индукционной печи. Получен корольек (сплав металлов) объёмом 1 см³, весом в 9,7 г. Исследование опытного образца (королька) методами рентгеноспектрального и микрозондового анализа в АСИЦ-ВИМС показали, что исследуемый образец представляет собой сплав металлов: Fe (60%), Ni, Si, Na и др.

Содержание благородных металлов составляет: Ag – 12,8%, Au – 5,6%, Pd – 5,1%, Pt – 0,6%.

Пересчёт извлечения благородных металлов на 1 тонну Н.О. в золотом эквиваленте составляет 4,2 г.

Таким образом, в дополнение к уже запатентованному способу извлечения благородных металлов из концентрата [5], разработан способ извлечения из Н.О. шламов с измененными свойствами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сметанников А.Ф., Шанина С.Н. Особенности минералогии и формы нахождения благородных металлов в солях Верхнекамского месторождения / Минералогия Урала 2003:Материалы IV всероссийского совещания. Миасс 2003 г. с 20-29.

2. Сметанников А.Ф., Синегрибов В.Н., Юдина Т.Б., Седых Э.М. Извлечение благородных металлов из глинисто-солевых отходов калийных предприятий Верхнекамья / Химическая технология, №1, 2004. С. 26, 27.

3. Сметанников А.Ф., Синегрибов В.Н., Юдина Т.Б., Седых Э.М. О возможности использования глинисто-солевых отходов калийных предприятий Верхнекамья в качестве источника благородных металлов (Au, Pt, Pd) / Материалы второй международной конференции: Москва, 2003 г. с. 188-190. .

4. Заявка № 2003113565/03 (014398) «Способ получения концентрата для извлечения благородных металлов».

5. Патент 2235140 РФ, С 22 В 11/00. 1/04, 3/06 «Способ извлечения благородных металлов из концентрата» Оpubл. 27.08.2004. Бюлл. №24.

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ РАЗРАБОТКИ ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ТВЁРДОФАЗНО-СОЛЕВЫХ ПУЛЬП

Существует проблема извлечения благородных металлов (Au, Ag, Pt, Pd) из глинисто-солевых отходов калийных предприятий – шламов. Шламы, в свою очередь, представляют смесь водно-солевого раствора и нерастворимого в воде остатка (Н.О.), в котором и сконцентрированы благородные металлы.

Рассматривается необходимость разработки и создания промышленной установки с применением *длинноконусных* (угол конусности $\alpha = 5^\circ$) гидроциклонов для полного или максимально возможного выделения твёрдой фракции (Н.О.) из пульпы, представляющей собой твёрдофазно-солевою суспензию, где жидкая фаза – насыщенный раствор солей **Na** и **K**.

Разделение твёрдофазно-солевой пульпы ранее проводилось на гидроциклонах с углом конусности $\alpha = 10...20^\circ$, но с целью выделения (обогащения) предполагаемого концентрата **Au**. Задачи максимального отделения твёрдой фазы от жидкой из соляного раствора ранее не ставилось.

Гидроциклоны разных углов конусности и установки на их основе широко применяются в обогатительной промышленности. Так, например, гидроциклоны с $\alpha = 5^\circ$ используются для очистки сточных вод при производстве целлюлозы. Для обогащения водно-угольных суспензий используются гидроциклоны с $\alpha = 20^\circ$.

Был проведён сравнительный анализ ряда водно-твёрдофазных суспензий (пульп), обогащаемых путём гидроциклонирования. Анализ показал, что наиболее близкими к исследуемым суспензиям по наличию твёрдой и жидкой фаз и их соотношению (Т:Ж) являются угольные шламы или водно-угольные суспензии.

Отличительной особенностью исследуемой суспензии является более высокая плотность жидкой фазы и размер частиц (90% менее 0,1 мм) твёрдой фазы. Основная масса частиц крупнее отделяемых в водных суспензиях, но мельче отделяемых в водно-угольных.

Ранее проведённые исследования на лабораторной модели *длинноконусного* ($\alpha = 5^\circ$) гидроциклона производительностью 10 кг/ч показали возможность практически полного отделения твёрдой фазы от жидкой после двух–трёхкратного прохождения исследуемой суспензии через гидроциклон [1]. По результатам этих работ была подана заявка на получение патента о возможности получения концентрата Н.О. шлама [2].

Результаты работы опытного гидроциклона, а также проведение укрупнено-лабораторных испытаний, где концентрат был получен лабораторными методами (отмывкой), и близкая перспектива проведения экспериментальных и опытно-промышленных работ по созданию промышленной технологии переработки глинисто-солевых отходов (шламов), обуславливают необходимость разработки и создания опытно-промышленной установки на базе *длинноконусного* гидроциклона с характеристиками, близкими к промышленным.

Создание установки разделено на два этапа. Первый – разработка и изготовление батареи из трёх гидроциклонов. Второй – создание обогатительной установки в целом, включая всю обвязку (ёмкости, трубопроводы, насосы и т.п.).

Для реализации замысла по первому разделу проводятся ОКР, основанные на результатах работы опытного гидроциклона, что привело к следующей схеме. Выделение концентрата проводится путём гидроциклонирования в две или три стадии. На первой стадии в питание первого гидроциклона с углом конусности α

$= 10^\circ$ поступают шламы с отношением Т:Ж = 1:3. В результате этого через песковую насадку гидроциклона выходит концентрат в виде крупной фракции Н.О., а через сливной патрубок удаляется слив в виде мелкой фракции Н.О. и раствора соли. Далее слив первого гидроциклона, при необходимости, распульповывают до Т:Ж = 1:8 и направляют в питание второго гидроциклона с углом конусности $\alpha = 7^\circ$ для перерешетки, результатом которой должно стать выделение концентрата в виде тонкой (остаточной) фракции Н.О. шлама и слива в виде раствора соли. В случае большого остаточного содержания Н.О. в сливе второго гидроциклона его направляют в питание третьего гидроциклона с углом конусности $\alpha = 5^\circ$ для дополнительной перерешетки. Полученные концентраты объединяются и поступают на следующий этап технологической цепочки извлечения благородных металлов из глинисто-солевых отходов калийных предприятий.

Углы конусности первого и второго гидроциклонов $\alpha = 10^\circ$ и $\alpha = 7^\circ$, соответственно, обусловлены тем, что результаты эксперимента, проводившегося на модели опытного гидроциклона с углом $\alpha = 5^\circ$, свидетельствовали о возможном увеличении угла конусности. Разброс материала Н.О. по крупности (от 0,01 до 1 мм) обуславливает применение гидроциклона с большим углом конусности для крупной фракции и с меньшим для мелкой.

На рис.1 в разрезе представлены три типа *длинноконусных* гидроциклонов с углами конусности $\alpha=10, 7$ и 5° соответственно, расчёт и проектирование которых ведётся в данное время.

Для реализации второго этапа, завершающего процесс проектирования обогатительной установки, была разработана аппаратно-технологическая схема всей установки.

На рис. 2 представлена принципиальная аппаратно-технологическая схема промышленной установки получения концентрата для извлечения благородных металлов из глинисто-солевых отходов калийных предприятий и схема протекающего в ней процесса.

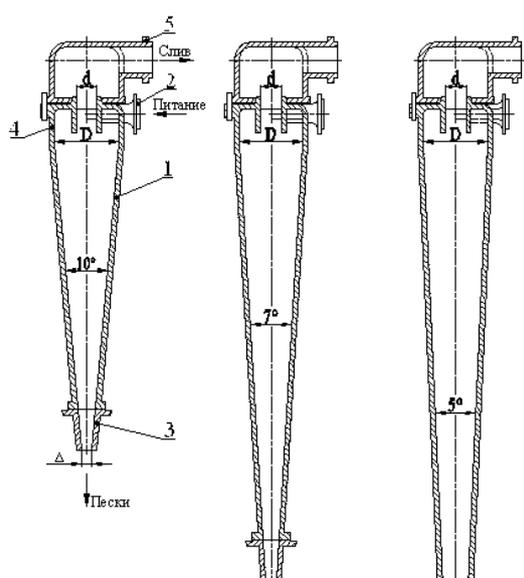
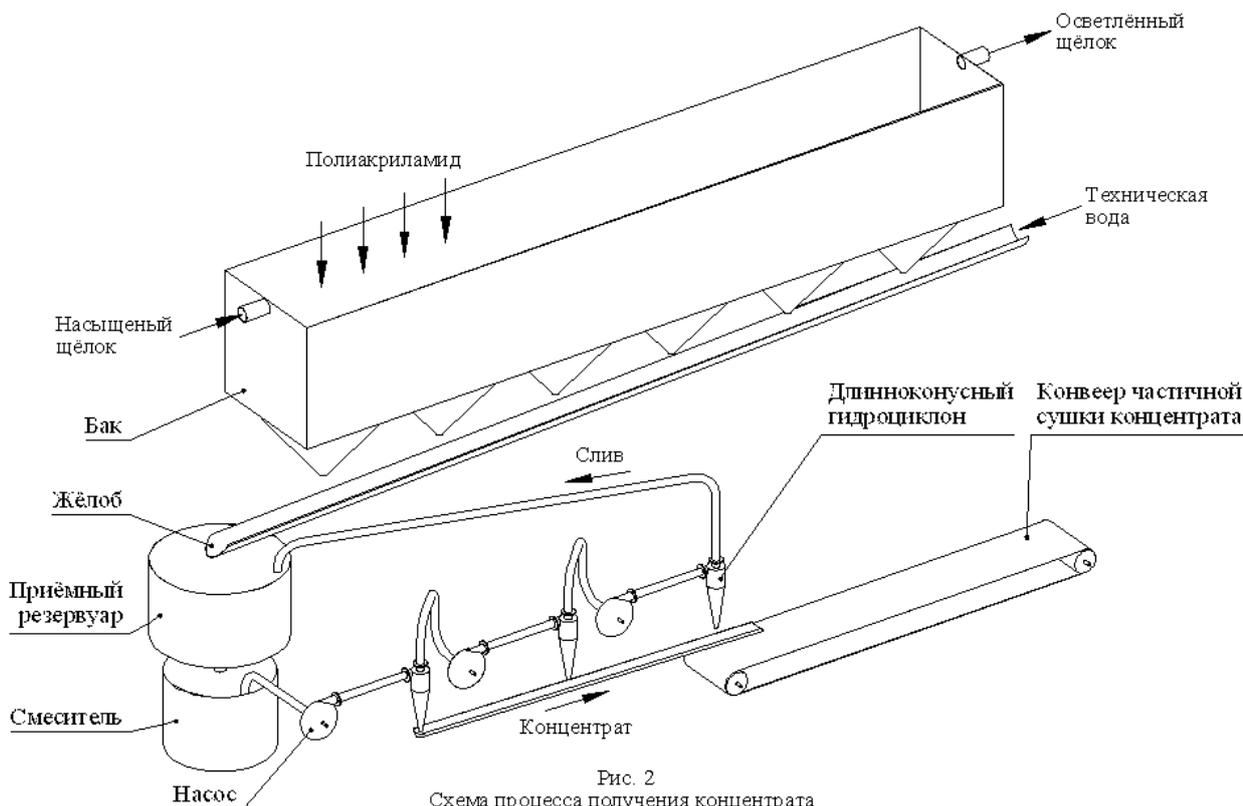


Рис. 1 Гидроциклон

- 1 - цилиндро-конический сосуд.
- 2 - питающая насадка.
- 3 - песковая насадка.
- 4 - сливной патрубок.
- 5 - сливная труба.

Таким образом, имеется достаточно сведений для того, чтобы начать разработку рабочей конструкторской документации для реализации проекта в металле.



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сметанников А.Ф., Кудряшов А.И. // Руды и металлы. – 1995. – № 5. – С. 118–121.
2. Заявка № 2003113565/03(014398). Способ получения концентрата для извлечения благородных металлов.

А.Ю. Бабошко

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОТХОДОВ КАЛИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Обогащение калийных руд неизбежно приводит к образованию галитовых отходов, глинисто-солевых шламов и избыточных рассолов. Для их складирования строят специальные гидротехнические сооружения – солеотвалы и шламохранилища, которые являются основными источниками эмиссии загрязняющих веществ в окружающую среду.

С целью оценки экологической опасности отходов калийного производства проведено эколого-геохимическое исследование их состава. В ходе данных исследований решались следующие задачи: оценка роли технологических факторов в формировании химического состава твёрдых и жидких отходов калийного производства; спектр химических соединений и формы их нахождения в рассматриваемых отходах; оценка миграционной способности поллютантов в системе «отходы – окружающая среда».

Состав твердых и жидких отходов производства определяется составом исходной руды и принятым способом её переработки. Различными исследователями

в рудах калийных месторождений обнаружено порядка 30 микроэлементов примесей среди которых с точки зрения экологической опасности наибольший интерес представляют тяжелые металлы Cr, Mn, Ni, Zn, Ni, Pb, Cu, Sr, V, Fe.

Имеющиеся сведения о количественном содержании тяжелых металлов в калийных рудах весьма фрагментарны. Это связано прежде всего со слабой изученностью данного вопроса, а также со сложностью аналитического определения металлов в высокоминерализованных пробах с хлоридной матрицей. Наиболее информативными представляются результаты определения тяжелых металлов в валовой и растворимой формах в усредненных месячных пробах сильвинитовых руд, выполненные институтом МНИИЭКО ТЭК (табл.1) [4].

Таблица 1

Медианные значения содержаний (г/т) тяжелых металлов в калийной руде

Форма элементов	Ni	Cu	Zn	Mn	Fe	Ti	Ba	V	Pb	Cr
<i>БКРУ-1 (11 проб)</i>										
Валовая	2,35	6,14	2,00	26,27	938,8	43,16	5,54	2,59	0,41	3,16
Водораств.	0,53	0,12	0,0001	1,28	5,59	0,0003	0,52	0,54	0,005	0,0015
<i>СКРУ-2 (5 проб)</i>										
Валовая	1,48	5,57	3,29	21,75	757,6	40,15	4,87	1,01	3,38	2,58
Водораств.	0,15	0,01	0,0001	1,88	1,30	0,0003	0,46	0,0005	0,005	0,0015

Установлено, что в основном указанные элементы сосредоточены в нерастворимой части руды [4], что определяет их накопление в процессе обогащения в глинисто-солевых шламах.

Применяемая технология обогащения калийных руд характеризуется широким использованием органических реагентов, большая часть которых относится к категории поверхностно-активных веществ [3,4]. Введение реагентов в производственный процесс начинается на стадии обесшламливания. На фабриках Верхнекамского месторождения принята схема флотации минералов нерастворимого остатка анионоактивными реагентами (окисленный уайт-спирт, оксиэтилированные жирные кислоты и др.). Далее на стадии сильвиновой флотации в технологический процесс вводятся катионные реагенты-собиратели (первичные алифатические амины), неионогенные собиратели (как правило, нефтепродукты), реагенты-депрессоры и вспениватели. На стадии сгущения шламовых продуктов применяют полиакриламид в качестве флокулянта. При галлургическом способе обогащения реагенты-флокулянты используются только на стадии гравитационного обесшламливания руды. Таким образом, глинисто-солевые шламы, отправляемые на складирование, должны содержать анионоактивные собиратели и флокулянты, адсорбированные на стадиях обесшламливания и сгущения шламов. В избыточных рассолах, которые также сбрасываются в шламохранилище, могут содержаться остаточные количества реагентов, не покинувшие систему с другими продуктами – вспениватели, излишки собирателей, регуляторов.

Исследование органо-минеральных характеристик твердых и жидких отходов калийного производства показало, что они содержат в своем составе значительное количество разнообразных по своим токсикологическим свойствам поллютантов (соли, битуминозные вещества, нефтепродукты, ПАВ, тяжелые металлы) [1,2]. При оценке их экологической опасности должны учитываться формы нахождения данных поллютантов в отходах и миграционная способность, характеризующие потенциальную возможность их поступления в окружающую среду.

Галитовые отходы, поступающие на солеотвал, обладают повышенной влажностью и уже через несколько недель становятся прочной сцементированной породой, что исключает возможность их пыления и загрязнения почвенного покрова за счет аэрогенного переноса. Это подтверждается отсутствием признаков засоления почв вблизи объектов отвально-шламового хозяйства: суммарное содержания солей 0,1-0,2%, в их составе преобладают гидрокарбонаты, реже сульфаты, а концентрации хлор-иона не превышают 0,011%.

Минеральный состав данных отходов аналогичен составу разрабатываемых калийных солей при пониженном содержании полезных компонентов. Так, согласно имеющимся данным, отходы одного из солеотвалов ОАО “Уралкалий” состоят на 89.92% из галита (NaCl); 2.02 % - из сильвина (KCl); 1.41% - из солей магния; 1.05 % - из солей кальция (ангидрит, кальцит, частично карналлит, доломит, анкерит). Микрокомпонентный состав галитовых отходов, по различным литературным данным, насчитывает 22 элемента I-III классов опасности.

Таблица 2

Содержание (мг/кг) тяжелых металлов в твердых отходах калийных предприятий Верхнекамского месторождения

Ni	Cu	Zn	Mn	Fe	Co	Sr	Pb	Cr
0,21–0,61	0,9–1,4	1,8–5,6	23-35	120-380	<0,1	15-32	<0,1	0,1–0,25

Находясь в солеотвале в прочно связанном в минеральной матрице состоянии, эти элементы не представляют серьезной опасности для окружающей среды. Поступление их в окружающую среду возможно только за счет растворения галитовых отходов атмосферными осадками: в пробах, отобранных из рассолосборников солеотвалов, обнаружены повышенные концентрации марганца (5,38 мг/л), никеля (3,03 мг/л), кобальта (1,72 мг/л), хрома (0,46 мг/л), стронция (350 мг/л) [1,2].

Что касается органической составляющей, то галитовые отходы, несомненно, являются наиболее благополучными среди всех трех групп отходов калийного производства: по данным газожидкостной хроматографии, концентрации органических соединений углеводородного типа в галитовых отходах не превышают 0,001% [1].

В отличие от галитовых отходов глинисто-солевые шламы имеют повышенное содержание воды (28.75%), нерастворимого остатка (22.82%), сильвина (4.92%), солей кальция (7.61%), магния (4.30%) и пониженное содержание галита (25.1%) [1,4]. Данные о содержании тяжелых металлов, обобщенные по различным литературным источникам, в таблице № 3, свидетельствуют, что значительная часть данных соединений накапливается в шламах.

Таблица 3

Содержание (мг/кг) тяжелых металлов в глинисто-солевых шламах калийных предприятий Верхнекамского месторождения

Ni	Cu	Zn	Mn	Fe	Co	Sr	V	Pb	Cr
3-50	24,2-100	0-30	79-7000	3935	24,2-100	100-200	51,2	7-57	10-105

Анализ проб шлама на содержание органических поллютантов показал, что концентрация битумоидов ХБА колеблется в пределах 0,73-3,0 г/кг, из них на долю углеводородных структур (нефтепродуктов) приходится 0,34-1,96 г/кг (34-64% от ХБА) [1,2]. Такой высокий уровень содержания органических соединений подтверждает предположение о переходе реагентов, применяемых на стадии обесшламливания калийных руд, в данные отходы. Следует отметить, что применение анионных собирателей приводит к образованию сложных органо-минеральных комплексов, в том числе и с тяжелыми металлами, которые не поддаются извлечению традиционными органическими растворителями.

Для оценки степени растворимости шламов в воде и возможных масштабов перехода поллютантов из шламов в гидросферу проведено исследование состава их водных вытяжек при трехэтапном последовательном растворении дистиллятом. Как показали результаты данных исследований, доля растворимых в воде солей колеблется от 26-40% (СКРУ-1,2, БКРУ-4) до 58-83% (БКРУ-1,2,3, СКРУ-3).

Оценка масштабов перехода в водную фазу микроэлементов проведена на примере шламов СКРУ-3, причем процесс их последовательного растворения дистиллятом растянут на пять этапов. Эксперимент показал, что в водную фазу вместе с солями переходят такие тяжелые металлы, как Cr, Mn, Ni, Zn, Co, Pb, Cu, Sr, Fe [1,2].

Аналогичный эксперимент был поставлен и для органической составляющей шламов. Обнаружено, что, несмотря на гидрофобность получаемых при флотации органо-минеральных комплексов, определенная их часть растворима в воде. Содержание ХБА в водных вытяжках из шламов колеблется в пределах 0,55-3,43 мг/л (растворилось от 5 до 28% содержащихся в шламе битумоидов); нефтепродуктов – 0,02-1,13 мг/л (1,5-10%); фенолов – 0,001-0,08 мг/л; аминов - до 0,78 мг/л [1,2]. Особый интерес представляет оценка балансового перераспределения органических соединений в системе “шлам - вода” в процессе растворения: во многих случаях отмечается парадоксальный эффект - остаточное количество битумоидов и нефтепродуктов в промытом шламе с учетом растворившегося в воде превышает его начальное (до растворения) содержание. Подобное явление подтверждает, что значительная часть органики в шламах находится в виде труднорастворимых органо-минеральных комплексов с различными солями - разрушение данных комплексов в процессе растворения солей высвобождает органику из связанного состояния (делает возможным ее извлечение органическими растворителями).

Как видно из приведенной характеристики отходов, шламы содержат большее количество потенциально опасных для окружающей среды поллютантов, однако поступление их в окружающую среду возможно только при выщелачивании пресными водами (атмосферными осадками). Но и в этом случае в большинстве случаев они не представляют реальной угрозы для окружающей среды, так как при их движении с грунтовыми водами до мест разгрузки в поверхностные водоемы происходит естественное самоочищение благодаря высокой степени разбавления и сорбционным свойствам водовмещающих пород.

Реальную угрозу загрязнения окружающей среды могут представлять только высокоминерализованные техногенные рассолы, обладающие высокой подвижностью. В шламохранилища подаются так называемые избыточные рассолы, не используемые в оборотном водоснабжении процессов обогащения. Другим источником рассолов являются галитовые отходы, из которых за счет гравитационного уплотнения выделяются так называемые “отжимные” рассолы, поступающие в рассолосборники солеотвалов, а затем в шламохранилища. Помимо высокого содержания в рассолах основных ионов, характерных для калийных месторождений,

они характеризуются повышенным уровнем содержания тяжелых металлов и органических веществ. Несмотря на принимаемые меры по гидроизоляции ложа шламонакопителей, практически на всех фиксируются утечки рассолов, которые приводят к загрязнению вод приповерхностной гидросферы. Повышение минерализации и концентрации хлор-иона в грунтовых водах фиксируется на территориях, прилегающих к объектам ОШХ (зоны протяженностью до 3 км и шириной до 3,5 км), а также на участках поверхностных водотоков ниже мест разгрузки загрязненных грунтовых вод. Для контроля за этим процессом в рамках программы мониторинга состояния геологической среды Верхнекамского солеродного бассейна организованы гидрорежимные наблюдения за состоянием подземных и поверхностных вод.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бачурин Б.А., Мурзаев В.М., Одинцова Т.А. Эколого-геохимическая характеристика отходов калийного производства // Горные науки на рубеже XXI века. Материалы Международной конф. Екатеринбург: УрО РАН, 1998. С.408-417.
2. Бачурин Б.А. Эколого-геохимическая характеристика отходов горнодобывающих предприятий // Перспективы освоения недр – комплексное решение актуальных проблем: Науч. чтения им. акад. Н.М.Мельникова. М.: ИПКОН РАН, 2002. С.26-30.
3. Бачурин Б.А. Геохимические барьеры и накопление экотоксикантов в отходах горнодобывающего производства // Стратегия и процессы освоения георесурсов: Материалы науч. сессии Горного института УрО РАН. Пермь: Горный ин-т УрО РАН, 2004. С. 33-37.
4. Технология флотационного обогащения калийных руд / Н.Н.Тетерина, Р.Х. Сабиров, Л.Я. Сквирский, Л.Н. Кириченко. Пермь, ОГУП «Соликамская типография», 2002. - 484 с.

О. И. Кадебская

ОХРАНА КУНГУРСКОЙ ЛЕДЯНОЙ ПЕЩЕРЫ

Первым необходимость охраны Кунгурской Ледяной пещеры отметил академик Е.С. Федоров (1884).

В 1926 г. А.Е. Ферсман обратил внимание на уникальность природных ландшафтов района пещеры, а в конце года Госкомитет по охране природы Главнауки СССР принял специальное постановление, в котором отметил, что Кунгурская Ледяная пещера «представляет большой научный интерес и заслуживает охраны».

В 1927 г. Президиум ВЦИК рассмотрел просьбу об охране Кунгурской Ледяной пещеры и указал, что для этого необходимо постановление Наркомпроса. Соответствующее постановление принято не было.

В 1933 г. в резолюцию I Всесоюзного съезда по охране природы по докладу А.Т. Хлебникова внесен пункт, в котором отмечено «значение Кунгурской Ледяной пещеры в научно-просветительном и экскурсионно-туристском отношении, в частности для развития иностранного туризма».

В 1937 г. А.Т. Хлебников передал в Комитет по заповедникам материалы, необходимые для признания Кунгурской Ледяной пещеры памятником природы

Государственного значения. В этом же году ВООП выступило с ходатайством о заповедании пещеры. Ходатайство удовлетворено не было.

В 1940 г. Кунгурский районный Совет народных депутатов ходатайствовал перед Пермским облисполкомом об объявлении Кунгурской Ледяной пещеры памятником природы, а в 1941 г. – о заповедании склонов Ледяной горы. Эти просьбы не нашли поддержки в областном центре.

После Великой Отечественной войны вопрос об охране Кунгурской Ледяной пещеры неоднократно поднимал Кунгурский стационар.

В 1948 г. на заседании ВООП его директор Е.А. Гаврилов отметил губительное состояние Кунгурской Ледяной пещеры.

В 1955 г. возник вопрос о ликвидации Стационара и передаче пещеры Кунгурскому краеведческому музею. Кунгурские горком партии, горисполком и Уральский филиал АН СССР выступили против такого решения, указывая, что «оно не обеспечит охрану и туристское использование пещеры».

В 1958 г. под руководством академика Е.М. Лавренко разработан проект всесоюзной сети заповедников. Ледяная гора с пещерой должна стать частью заповедника «Кунгурский». Проект не осуществлен. В этом же году В.С. Лукин выступил с докладом о состоянии Кунгурской Ледяной пещеры на Всесоюзном совещании по вопросам развития заповедного дела в СССР. Пункт о заповедании Кунгурской пещеры в решение совещания не включен. В конце 1958 г. В.С. Лукин сделал аналогичный доклад на совещании по охране природы Урала. В решении имеется пункт об оформлении заповедного режима на территории Кунгурской Ледяной пещеры. Докладная записка в Президиум АН СССР результата не дала.

В 1959-1960 гг. о необходимости охраны Ледяной горы и Кунгурской Ледяной пещеры пишут академик Б.П. Колесников и проф. Г.А. Максимович.

В 1960 г. по ходатайству Кунгурского стационара и Пермского госуниверситета принято решение Кунгурского горисполкома № 12 «Об установлении заповедной зоны для Кунгурской Ледяной пещеры». Выделенную заповедную зону (137 га) Пермский облисполком не утвердил.

В 1963 г. Пленум Карстовой комиссии АН СССР принял решение о необходимости заповедания пещеры.

В 1965 г. решением Пермского облисполкома № 399 Кунгурская Ледяная пещера объявлена *памятником живой и неживой природы*. Фактически решение не выполнялось.

В 1967 г. Центральная лаборатория охраны природы АН СССР разработала перечень примечательных ландшафтов СССР. По предложению Пермского университета Кунгурская Ледяная пещера включена в него в качестве *геологического заказника*.

В 1968 г. коллектив Кунгурского стационара стал коллективным членом ВООП. На него оформлены охранные обязательства по археологическим памятникам «Городища первобытного человека на Ледяной горе №№ 1 и 2». По самой пещере аналогичного документа нет.

В июне 1969 г. на совещании по охране природы в Перми В.С. Лукин и Е.П. Дорофеев сделали доклад «Охрана туристских объектов».

В 1977 г. В.С. Лукин представил в Пермский областной Совет по туризму и экскурсиям докладную записку, в которой рассмотрены вопросы охраны заповедной пещеры.

В 1984 г. в рекомендациях, подготовленных ВООП, Кунгурская Ледяная пещера характеризуется как «*объект республиканского значения*».

В 1987 г., согласно новому ранжированию охраняемых объектов, принятому в Постановлении Госплана РСФСР от 24.04.1983 г., Кунгурская Ледяная пещера по предложению Пермского университета отнесена к *геоморфологическим памятникам*.

В 1988 г. по акту горного отвода за ОАО «Пермтурист» закрепляется преимущественное право на владение пещерой. В этом же году Пермский облисполком решением № 139 подтвердил статус охраняемой природной территории Ледяная гора. На практике решение не выполнялось.

В 1989 г. Кунгурская Ледяная пещера объявлена *геологическим памятником* (№ 197 в «Перечне охраняемых и рекомендуемых к охране природных территорий Пермской области»). Охрана памятника не организована.

В 1990 г. озабоченность состоянием пещеры неоднократно высказывают сотрудники Кунгурского стационара.

В 1991 г. научная общественность Пермской области выступила с предложением создать на базе ряда охраняемых природных территорий (ОПТ) национальный парк «Сылвенский».

В 1992 г. кафедра биологии ПГУ разработала проект заповедника и доложила его на ряде совещаний. Наибольшие споры вызвал статус Кунгурской Ледяной пещеры. Принято компромиссное решение – пещера входит в состав национального парка, но без изъятия земель и изменения вида деятельности ОАО «Пермтурист».

В 2000 г. продолжается дискуссия о существовании двух памятников природы – Ледяной горы (*ландшафтный памятник природы № 204*, площадь 137 га) и Кунгурской пещеры (*геологический памятник природы, № 197* площадь 37 га). Эти географически и исторически неразрывные объекты находятся в двойном административном подчинении (г. Кунгур и Кунгурский район) и в двойном пользовании (ОАО «Пермтурист» и Кунгурская лаборатория Горного института УрО РАН).

В 2001 г. в соответствии с Федеральным законом «Об особо охраняемых территориях» от 14.03.1995 г., Земельным Кодексом РСФСР, ст. 89 и Законом Пермской области «Об историко-культурно-природном наследии» от 20.02.1997 г. образован *историко-природный комплекс «Ледяная гора и Кунгурская Ледяная пещера»* площадью 106,5 га.

Таким образом, вопрос об охране пещеры и Ледяной горы, в которой она находится, к сожалению, до сих пор не нашел достойного решения. Кунгурская пещера непрерывно меняла свой статус, в разные годы становясь геологическим, геоморфологическим, природным, историко-природным памятником (заповедником, заказником, охраняемой территорией) и пр. Принятые по ней природоохранные решения не выполнялись.

Автором были разработаны предложения по включению Ледяной горы и Кунгурской Ледяной пещеры в список Всемирного природного наследия ЮНЕСКО, обсуждение которых состоялось на форуме «Karst and World Heritage in Europe» в Словении в ноябре 2004 года.

Необходимо повышение статуса этой территории до национального парка с выделением заповедных зон и зон рекреации. Ее включение в список Мирового наследия ЮНЕСКО будет способствовать этому, даст возможность сохранить Ледяную гору и Кунгурскую Ледяную пещеру от негативного антропогенного воздействия, привлечь внимание широкой общественности, туристов и ученых к этому региону и его проблемам. После форума «Karst and World Heritage in Europe» мы получили выписку из протокола заседания исполнительного комитета форума, в котором было представлено заключение, подготовленное председате-

лем Всемирного союза охраны природы Элери Гамильтон-Смитом и исполнительным комитетом по карсту и охране пещер. Элери Гамильтон-Смит представил список карстовых объектов, рекомендуемых для включения в список мирового наследия ЮНЕСКО. Среди них была также Кунгурская Ледяная пещера и участок поверхности над ней - Ледяная гора. Важнейшие характеристики объекта: пещера с ледяными образованиями, пещера в гипсах, карстовая поверхность на гипсах, и карстовые процессы в гипсах – многочисленные карстовые формы рельефа. Участники форума, около пятидесяти человек из 15 европейских стран полностью одобрили предложение Элери Гамильтона-Смита.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воронов Г.А. Ледяная гора и Кунгурская ледяная пещера – историко-природный комплекс // Кунгурская ледяная пещера. 300 лет научной и туристической деятельности. Кунгур, 2003. С. 9-11.
2. Дорофеев Е.П. Изменение температурного режима Кунгурской пещеры в период ее эксплуатации и мероприятия по сохранению ледяных образований // Исследование карстовых пещер в целях использования их в качестве экскурсионных объектов. Тбилиси, 1978. С. 117-118.
3. Лукин В.С. Об охране Кунгурской ледяной пещеры // Беречь природу Прикамья. Пермь: Кн. изд-во, 1971. Вып. 2. С. 84-87.
4. Максимович Г.А. Кунгурская ледяная пещера // Тез. докл. карстово-спелеологической конф. ЕНИ и МГУ. Молотов, 1946. С. 3.
5. Мавлюдов Б.Р. Климатические системы пещер // Вопр. физической спелеологии. Москва: МФТИ, 1994. С. 6-24.
6. Наумкин Д.В. Современное состояние исследования троглобионтов Кунгурской ледяной пещеры // Проблемы экологии и охраны пещер: теоретические и прикладные аспекты: Материалы 1-й Общероссийской науч.-практ. конф. Красноярск, 2002. С. 12-18.
7. Особо охраняемые природные территории Пермской области. Реестр / Отв. ред. С.А. Овеснов. Пермь: Кн. мир, 2002. 463 с.
8. Рычкова Н.Н. Ботаническая характеристика участка Кунгурской ледяной пещеры // Охрана природы на Урале. Пермь, 1961. Вып. 2. С. 155-159.

Н.В. Лаврова

ОПЫТ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА РЕЖИМОМ ГРУНТОВЫХ ВОД В г. КУНГУРЕ ПЕРМСКОЙ ОБЛАСТИ

Большое значение для оценки инженерно-геологических условий городских территорий, а также прогноза паводковых явлений имеет изучение режима подземных вод. Для закарстованных районов степень значимости данных исследований многократно возрастает. Карстовые процессы в коренных породах, а также суффозионные явления в покровной толще в большинстве случаев взаимосвязаны и зависят от гидрогеологических условий.

Кунгур расположен в полосе распространения интенсивно карстующихся сульфатных отложений, переслаивающихся с маломощными пачками карбонатных пород, кунгурского яруса пермской системы, перекрытых рыхлыми четвертичными отложениями. На положение водоносного горизонта в карстующемся массиве большое влияние оказывают летне-осенние и особенно весенние паводки

на р. Сылве и ее крупных притоках, когда происходит массовое проникновение речных вод в берега с последующим возвращением в русло. Одновременно происходит растворение и вынос в реки огромного количества гипса [1]. С целью выявления степени влияния поверхностных вод на подземные воды с 2002 г. на территории города проводятся систематические замеры уровня грунтовых вод в колодцах и скважинах (1 раз в месяц), а во время паводка ежедневно. В том же году под руководством О.И. Кадебской оборудован гидрологический пост на р. Сылве, где замеры уровня воды в реке проводятся два раза в день. Летом 2003 г. по инициативе И.А. Никифоровой при участии студенток Пермского университета О.М. Лихой и Ю.С. Южаковой была создана сеть наблюдательных скважин.

Режим подземных вод в прибрежных зонах теснейшим образом связан с режимом водотоков, влияние которых больше всего проявляется во время паводков, сезонных и эпизодических подъемов и спадов уровня. Во время паводка создаются условия подпора грунтовых вод и питания их за счет поверхностных вод. После прохождения паводка в течение некоторого времени наблюдается обратная фильтрация ранее проникших в берега поверхностных вод и лишь после этого разгрузка грунтовых вод в реки или озера возобновляется [2].

Величина амплитуды колебаний грунтовых вод первого от поверхности водоносного горизонта под воздействием поверхностных вод зависит, в первую очередь, от удаленности поверхностного водотока, литологического состава водовмещающих пород и величины амплитуды паводка, т.е. величины исходного подпора [3].

Анализ графиков колебаний уровня грунтовых вод в зависимости от удаленности наблюдательных точек от реки свидетельствует о высоком коэффициенте фильтрации водовмещающих пород и тесной гидравлической связи поверхностных и подземных вод (рис. 1, 2). Выделяются три наблюдательные точки: 13, 77, 92, где колебания уровня резко отличаются от всех остальных пунктов, что обусловлено особенностями геологического строения.

Точка 13 расположена в 30 м от крутого склона третьей надпойменной террасы. Подъем воды здесь начался задолго до подъема воды в реке, что свидетельствует о массовом поступлении талых вод, просачивающихся с поверхности. Точка 77 находится на берегу р. Шаквы, притока р. Сылвы. Протяженный период высокого стояния уровня грунтовых вод без выраженного пика свидетельствует об особенном характере питания водоносного горизонта, и связано это в первую очередь с особенностями геологического строения данного участка, аналогичными особенностям района, где расположена наблюдательная точка 92. Точка 92 расположена в месте наибольшего сближения рек Сылвы и Ирены. Большее влияние на высокое стояние уровня грунтовых вод оказывает присутствие здесь линзы глинистых пород мощностью 3.5 м, залегающей на глубине 7 м. Интенсивное таяние снега перед паводком привело к быстрому подъему грунтовых вод, невозможность просачивания через глину и последовавший паводок обусловили высокий уровень стояния воды в течение почти целого месяца.

Выявление при режимных наблюдениях участков с различной степенью гидравлической связи поверхностных и подземных вод имеет большое значение для решения многих практических задач: расчетов береговых водозаборов, подпора и подтопления в зонах влияния водохранилищ, для определения и уточнения гидрогеологических параметров водоносных горизонтов (коэффициентов фильтрации, недостатка насыщения и водоотдачи горных пород, величин инфильтрационного питания и испарения, а также мощности водоносного горизонта) и др. Построение графиков может служить основой для прогноза амплитуд колебаний уровня грунтовых вод на соседних участках, имеющих одинаковое геологическое строение, а также прогноза амплитуд колебаний уровня по месяцам.

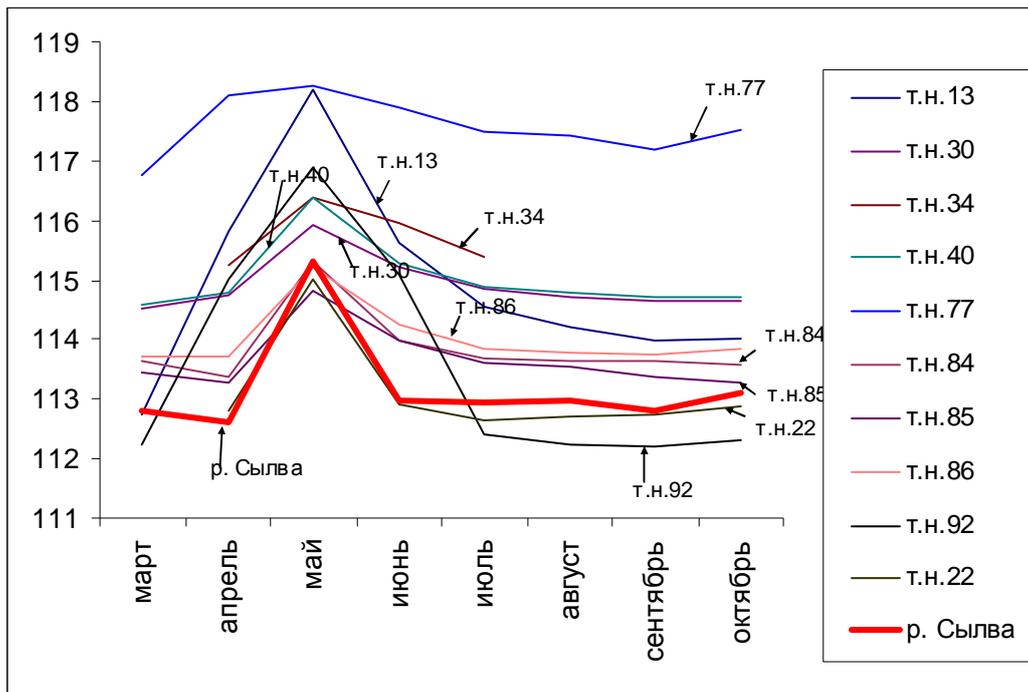


Рис.1. График изменения уровней грунтовых вод в режимных скважинах за 2004 г.

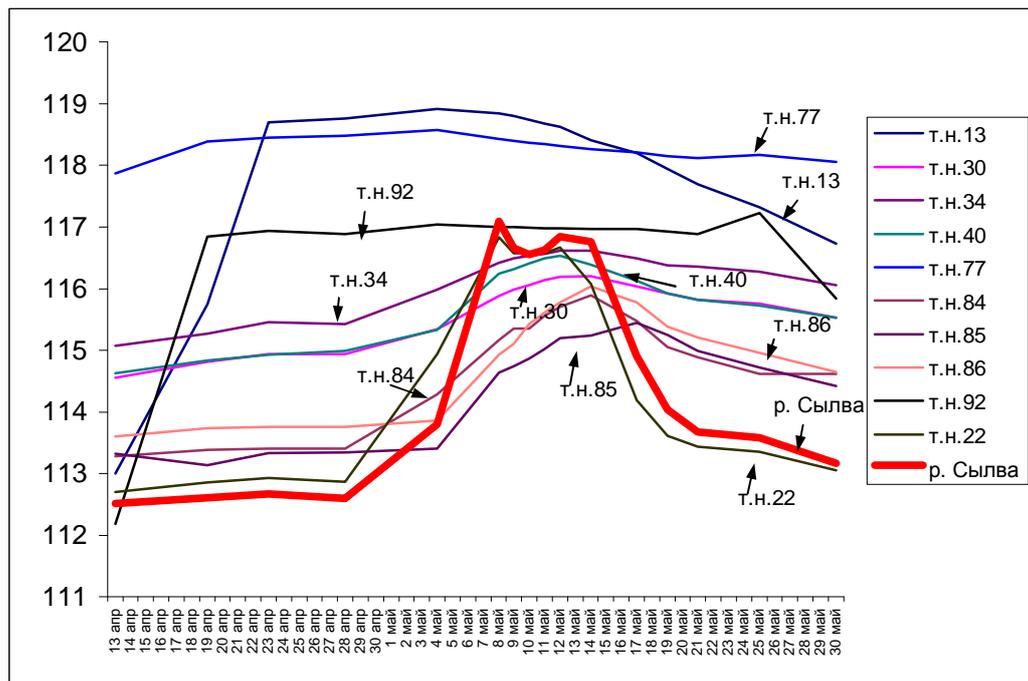


Рис.2. График изменения уровня грунтовых вод во время паводка 2004 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лукин В.С., Ежов Ю.А. Карст и строительство в районе г. Кунгура. Пермь, 1975.
2. Коноплянец А.А., Ковалевский В.С., Семенов С.М. Естественный режим подземных вод и его закономерности. М.: Госгеолтехиздат, 1963.
3. Методическое руководство по изучению режима подземных вод. М.: Госгеолтехиздат. 1954.

ВЫДЕЛЕНИЕ НАИБОЛЕЕ КАРСТООПАСНЫХ УЧАСТКОВ НА ТЕРРИТОРИИ Г. КУНГУРА И ОСОБЕННОСТИ ИХ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ

Большая часть территории г. Кунгура находится в зоне распространения сульфатных пород. В последнее время резко обострилась инженерно-геологическая обстановка. После строительства дамб, защищающих город от паводковых вод, изменился режим грунтовых вод, что привело к подтоплению отдельных площадей, увеличилось количество карстовых провалов. В аварийном состоянии находятся более 30 многоэтажных домов. Назрела острая необходимость в оценке карстоопасности, а также техногенной нагрузки территории г. Кунгура.

Кунгурской лабораторией-стационаром Горного института УрО РАН совместно с управлением ГО и ЧС и МУ «Служба единого заказчика» ЖКХ на территории города Кунгура выделены 5 наиболее карстоопасных участков. Участки выделялись по количеству аварийных домов, по социальной значимости объектов, по сложной инженерно-геологической обстановке, по количеству и размеру провалов. Всего на этих участках находится 185 домов. По всем этим домам была собрана информация о размерах дома, его этажности; о типе фундамента, перекрытий; о материале и толщине стен; о степени износа строения и о наличии трещин; о начале строительства и дате последнего капитального ремонта. По скважинам, пробуренным на этих участках, собраны данные о грунтах, о подземных водах, о карстовых полостях. Собрана информация о количестве, размерах и условиях образования провалов.

Комплекс работ по сбору, систематизации и упорядочению данных был существенно облегчен тем, что в Кунгурской лаборатории-стационаре уже несколько лет ведется база данных инженерно-геологической и карстологической информации, которая включает в себя данные о 4200 скважинах и о 485 провалах на территории г. Кунгура. Дополнительно, по каждому участку были построены геологические разрезы, при построении которых были использованы материалы инженерно-геологических изысканий Верхнекам-ТИСИЗа и фондовые материалы Кунгурского стационара.

Участок №1 (1-2 микрорайон г. Кунгура) имеет площадь 0.47 км², ограничен улицами Детская, Иренская Набережная, Уральская, Ситникова, Красноармейская, включает в себя 20 аварийных домов. На участке зафиксировано 10 провалов от 0.3 до 15 м.

Участок находится на первой надпойменной террасе между р. Сылвой и крупнейшим ее притоком – Иренью. Расстояние между руслами указанных рек составляет 1.5 км в створе ул. Труда и 0.35 км в створе ул. Уральской. Рельеф ровный, с отметками 116-120 м над уровнем моря. Меженный уровень р. Сылвы у автодорожного моста равен 111.6 м.

Скважины вскрыли коренные породы кунгурского яруса нижнего отдела пермской системы, перекрытые рыхлыми четвертичными отложениями, представленные аллювиальными (аQ) и крупнообломочными карстовыми отложениями - карстовой брекчией (N-Q), а также насыпными грунтами от 0.5 до 2.0 м.

Аллювиальные отложения в верхней части разреза до глубины 5-10 м представлены глиной и суглинком. Часто в глине присутствуют растительные остатки. Глубже залегают гравийно-галечниковые отложения, мощность 5-15 м. В качестве заполнителя присутствует песок. Отмечаются локальные участки, где мощность данных отложений возрастает до 25 м (скв. 3601). В этих случаях в составе обнаруживается щебень карбонатных пород.

Под аллювиальными отложениями вскрыты крупнообломочные карстовые образования, представленные дресвой, щебнем известняка и доломита,

иногда присутствуют единичные включения щебня гипса и ангидрита, заполнитель – глина, суглинок (около 60-70%), супесь. Карстовые отложения вскрываются на глубине от 10 до 20 м, мощность 5-15 м.

Покровные отложения залегают на коренных породах кунгурского яруса, который делится на два горизонта: филипповский (P_{1ph}) и иренский (P_{1ir}). Иренский горизонт вскрывается на глубине 20-25 м (абс. отм. 95-100 м). Его мощность в скважинах колеблется от 15 м до 30 м. Сложен горизонт светло-серыми голубоватыми ангидритами ледяно-пещерской пачки, иногда с прослоями и линзами доломитов и прожилками гипса. В отдельных скважинах встречается неволинская пачка, представленная известняками мощностью до 5 м. При разрушении пачки породы входят в состав карстовых отложений. При бурении скважины вскрывают в сульфатных отложениях заполненные и незаполненные карстовые полости на различной глубине высотой от 1 до 3 м. В отдельных скважинах (скв. 439, 3590) иренский горизонт полностью разрушен.

Карбонатно-сульфатные породы верхнего (иренского) горизонта подстилаются на глубине 40-45 м доломитами, доломитизированными известняками нижнего (филипповского) горизонта кунгурского яруса. Толща слоистых доломитов и известняков мощностью 60-70 м полого опускается в направлении на юго-запад. Породы содержат различное количество глинистого материала, имеют пелитовую, реже оолитовую и органогенную структуру и кремнистые включения.

Таким образом, на участке №1 выделяются три типа геологических разрезов. Первый – покровные отложения залегают на известняках неволинской пачки (рис.1, скв. 2235, 1942). В этом случае очень часто в нижезалегающих гипсах и ангидритах ледяно-пещерской пачки образуются пустоты. С увеличением размеров пустот за счет растворения происходит послойное обрушение вышезалегающих отложений, в результате чего на поверхности образуются провалы.

Второй тип разреза - покровные отложения перекрывают гипсы и ангидриты ледяно-пещерской пачки. В таких условиях выщелачивание сульфатных пород может происходить как с поверхности аллювиальными водами так и трещинными из филипповских доломитов. Закарстованность гипсов и ангидритов на первых метрах разрезов в виде каверн, трещин, пустот. Порода выглядит выветрелой. Растворение происходит в течение длительного времени, покровные образования заполняют углубления и полости путем медленного перемещения материала, находящегося в пластичном или текучем состоянии. Вслед за понижением поверхности гипсов и ангидритов происходит оседание кровли, приводящее к образованию понижений и просадок на поверхности (рис. 1, скв. 2237, 1638).

В тех случаях, когда горизонт крупнообломочных карстовых отложений содержит глыбы, между ними или на контакте с сульфатными породами встречаются небольшие пустоты.

Третий тип разреза – покровные отложения залегают на филипповских доломитах. В этом случае подошва аллювиальных отложений понижается до абс. отм. 87-95 м. В составе крупнообломочной толщи, наряду с дресвой, щебнем известняка и доломита, присутствует галька, гравий (рис. 1, скв.3817).

Большое значение для образования провалов и просадок на поверхности в результате развития карстовых и карстово-суффозионных процессов имеет уровень подземных вод. Подземные воды приурочены к гравийно-галечниковым отложениям и покровным глинам. Водоносный горизонт аллювиальных отложений гидравлически тесно связан с реками Сылва и Ирень. Уровни грунтовых вод устанавливаются в межень на глубинах 6.0-8.5 м (абс. отм. 110-112 м). В паводок уровень грунтовых вод отмечается на глубине на 2.0-5.0 м (абс. отм. 114-116 м).

Во время таяния снежного покрова на пониженных участках, где в покровных отложениях присутствует глина, образуется верховодка. Так, по данным наблюдений в скважине по ул. Труда, 36 резкий подъем воды начался задолго до начала паводка на реке. Уровень воды, установившийся на отметке 116,8 м, удерживался в период с 19 апреля до 25 мая. В условиях города медленный сток подземных вод подпирается дамбами, полотном дорог, фундаментами домов, вследствие чего на указанных участках формируется временный, а в отдельных случаях постоянный слабоводоносный горизонт с уровнями на глубине от 0.5 до 3.5-4.5 м (абс. отм. 115-118.5 м). Количество поступающей воды увеличивается за счет техногенных поступлений (утечки из водонесущих коммуникаций), зарегулированного поверхностного стока. В результате чего происходит обводнение грунтов под фундаментами строений, что ведет к уменьшению их несущей способности и, как следствие, образованию просадок. Ухудшает положение отсутствие ливневой канализации в пределах города.

Участок №2 расположен в 19 микрорайоне г. Кунгура, имеет площадь 0.03 км², ограничен ул. Ильина, Просвещения, Ст. Разина, Голованова, включает 6 аварийных домов. К этому участку также был присоединен детский сад №34, находящийся по адресу Мамонтова, 45. На участке зафиксирован 1 провал диаметром 5 м. Участок располагается на первой надпойменной террасе правого берега р. Сылвы к востоку от машзавода выше устья р. Шаквы. Абсолютные отметки рельефа 116-118 м, превышение над меженным уровнем реки 6 м.

Покровные аллювиальные и карстовые отложения перекрывают коренные отложения кунгурского яруса пермской системы. Рыхлый покров до глубины 8-12 м представлен глиной, суглинком, песком. Далее залегают гравийно-галечниковые отложения, заполнитель – супесь, песок; мощность 7-15 м. На глубине от 13 до 20 м встречаются крупнообломочные карстовые образования, представленные дресвой и щебнем известняка (30%), заполнитель – глина. Мощность горизонта от 3 до 10 м. Как правило, присутствуют галька и гравий.

Гипсы и ангидриты иренского горизонта на данном участке речной долины по данным бурения на прилегающих участках размыты и сохранились в отдельных местах, мощность 4-7 м. Рыхлые покровные отложения залегают на доломитах и доломитизированных известняках филипповского горизонта кунгурского яруса, глубина 26-29 м (рис. 3). В верхней части филипповского горизонта часто отмечается переслаивание гипсов и доломитов. Поэтому не исключено появление здесь небольших пустот, образованных при выщелачивании сульфатных отложений. Уровень грунтовых вод находится на 110-112 м и гидравлически связан с уровнем в р. Сылва.

Участок №3 находится в 3 микрорайоне г. Кунгура, имеет площадь 0.1 км², ограничен улицами Ленина, Октябрьская, Ситникова, включает 3 аварийных дома. На участке произошло 19 провалов диаметром от 0.8 до 5.2 м. Участок расположен на третьей надпойменной террасе р. Сылвы. Абсолютные отметки рельефа 136-141 м.

Аллювиальные отложения до глубины 10-15 м представлены суглинком твердым и тугопластичным, песком, гравием и галькой. На глубине 8-12 м появляется щебнисто-дресвяный грунт ангидрита и доломита с глинистым заполнителем, местами с включением гравия и гальки до 10%, сменяющийся щебнем известняка с суглинистым заполнителем. Мощность от 0.5 до 9 м.

Иренский горизонт кунгурского яруса пермской системы представлен шалашнинской, неволинской и ледяно-пещерской пачкой. Шалашнинская пачка (P₁k⁵) встречается на глубине 11-18 м, сложена гипсом белым кристаллическим с трещинами и кавернами. Встречаются незаполненные карстовые полости и заполненные песком с включениями гравия и гальки до 50% с обломками гипса и глиной с обломками гипса, известняка. Мощность пачки 3-10 м. Неволинская пачка иренского горизонта сложена доломитами мергелистыми с кристаллами селенита и известняками доломитизированными оолито-

выми. Местами пачка представлена глинами с глыбами доломита, с примесью доломитовой муки. Мощность неволинской пачки 6-7 м. В составе ледяно-пещерской пачки иренского горизонта (P_{1k}⁷) преобладают ангидриты голубовато-серые с прожилками гипса, в нижней части доломитизированные. Мощность ангидритов 30-33 м.

Филлиповский горизонт на глубине 56-62 м представлен доломитом темно-серым, крепким с прожилками селенита до 2 см.

Участок №4 располагается в 9 микрорайоне г. Кунгура, имеет площадь 0.027 км², включает 1 аварийный дом по адресу ул. Голдобина, 10. Участок №5 находится в 10 микрорайоне г. Кунгура имеет площадь 0.04 км², включает 2 аварийных дома по ул. Пролетарская. На этих участках карстовых провалов не зафиксировано.

Участки №4 и №5 расположены на первой надпойменной террасе р. Сылвы. Абсолютные отметки рельефа 116-118 м.

С поверхности до глубины 10-11 м залегают аллювиальные отложения, представленные суглинками, глинами, гравием, песком. В основании этих отложений появляются щебень и обломки карбонатных пород. Ниже по разрезу их количество растёт, поэтому выделение горизонта карстовых брекчий невозможно. На глубине 16-17 м вскрываются доломиты филипповского горизонта кунгурского яруса нижней перми.

Таким образом, на этом участке долины реки легкорастворимые гипсы и ангидриты иренского горизонта отсутствуют. Покровные отложения залегают на некарстующихся и слабокарстующихся доломитах филипповского горизонта. Карст в доломитах представлен порами и кавернами.

Уровень подземных вод находится на глубине 6 м (абс. отм. 110 м) и зависит от уровня воды в р. Сылве. Во время весенних паводков уровень подземных вод поднимается до 116.0 м (по данным режимных наблюдений в колодце на ул. Октябрьской, 174).

Инженерно-геологическое районирование территории Кунгура и его окрестностей было выполнено В.С. Лукиным в 1971 г. (масштаб 1:25 000) по данным обобщенным за 10-15 лет, и основывалось в первую очередь с учетом величины провалов и, во вторую - с учетом количества провалов [1]. Участки №1, 2, 4, 5, по этим данным, относятся к одному району, пригодному для строительства зданий преимущественно до 5 этажей, участок №3 относится к участкам, пригодным для строительства зданий до 5 этажей при условии проведения противокарстовых мероприятий. Объем информации, имеющийся в настоящее время, существенно увеличился. Геологическая и инженерно-геологическая обстановка участков №1, 2 и №4, 5 значительно отличаются друг от друга. По действующему с 2001 г. СП-11-105-97, категории устойчивости территории изменились.

Таблица 1

Сравнение категории устойчивости территории по СП-11-105-97

Номер участка	Категория устойчивости участка по районированию Лукина В.С. (1971 г.)	Категория устойчивости участка по данным Кунгурского стационара (2004 г.)
1	III-IV – В	II-Б
2	III-IV – В	II-В
3	II-В	I-В
4	V-Г	V-Г
5	V-Г	V-Г

Таким образом, на территории Кунгура необходимо провести новое районирование с учетом выявленных инженерно-геологических и геологических особенностей, с укрупнением масштаба карты до 1:10000.

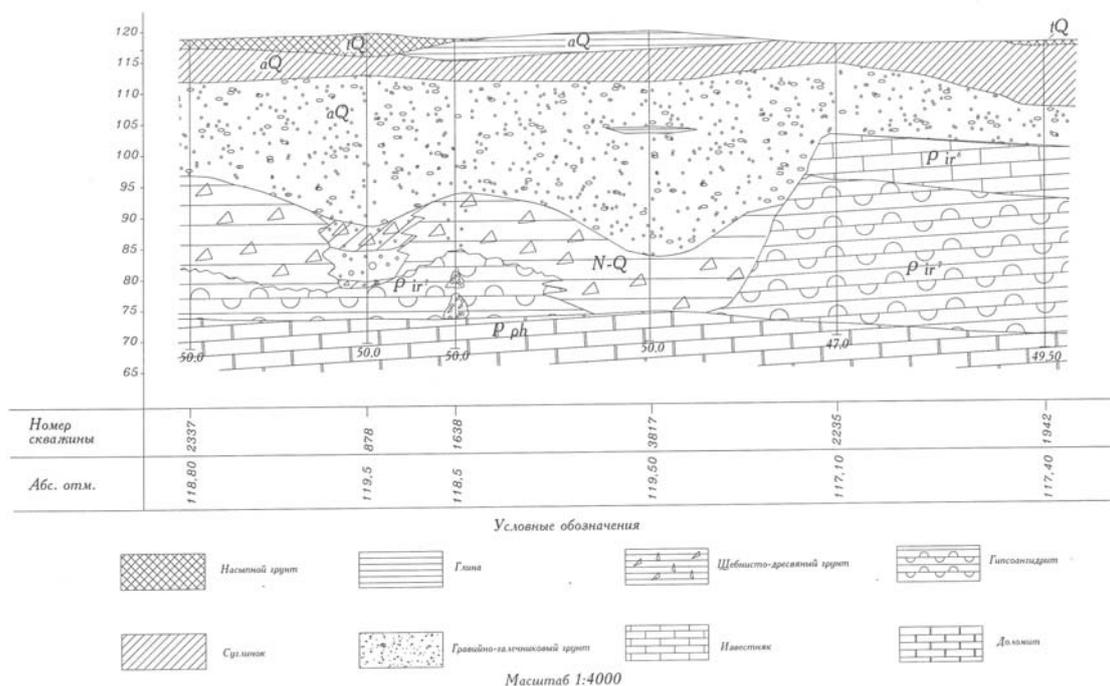


Рис. 1. Геологический разрез по 1 участку

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лукин В.С., Ежов Ю.А. Карст и строительство в районе г. Кунгура. Пермь, 1975.
2. СП-11-105-97. Часть II. Правила производства работ в районах развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов. М., 2001 г.

Д.В. Наумкин

БИОЛОГИЧЕСКИЙ КОМПОНЕНТ В КОМПЛЕКСНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ КУНГУРСКОЙ ЛЕДЯНОЙ ПЕЩЕРЫ

Широко известный памятник природы Предуралья – Кунгурская Ледяная пещера – до недавнего времени не привлекала внимания исследователей-биологов, в результате чего присущая ей своеобразная биота на протяжении XX века оставалась практически не изученной. Немногочисленные публикации касались, главным образом, микрофлоры (Володин, Пшеничнов, 1949 а,б; Лисина-Кулик, Барсукова, 1967), хотя уже в начале XX века имелись сведения и о наличии в пещере беспозвоночных, в том числе и эндемичных (Каптерев, 1913; Worutzky, 1928). В 2002 г. все опубликованные данные, касающиеся троглобионтов пещеры, а также архивные материалы, хранящиеся в Кунгурском стационаре ГИ УрО РАН, и незначительный объем личных наблюдений были обобщены автором в генеральном обзоре населения пещеры (Наумкин, 2002). В данной статье представлены материалы, полученные в последние годы, когда в биоспелеологических исследованиях стали принимать участие специалисты – зав. кафедрой зоологии беспозвоночных и водной

экологии ПГУ Н.Н. Паньков и студенты Пермского и Уральского госуниверситетов.

Растения. Зеленые мхи, споры которых занесены в пещеру с поверхности, образуют в некоторых местах (проход между гротами Метеорный – Коралловый, грот Длинный) довольно устойчивые популяции, существующие уже несколько десятков лет. В 2001 г. образец мха был передан автором для определения на кафедру систематики и генетики растений ПГУ. Он был изучен А.Г. Безгодовым, определившим его как *Pohlia wachlenberi*.

Грибы. В пещере нередко находки шляпочных агарикоидных базидиомицетов (Андрейчук, Дорофеев, 1995), таксономическая принадлежность которых до недавнего времени оставалась неизвестной. Е.П. Дорофеев подробно описал их морфологию в журнале наблюдений, сделал хорошие черно-белые фотографии (рис.1) и зафиксировал несколько экземпляров в спирте. В 2004 г. эти образцы были переданы автором в ПГПУ и определены профессором Л.Г. Переведенцевой как грибы-навозники (род *Corpinus*). К сожалению, сохранность материала не позволила идентифицировать его видовую принадлежность.



Рис. 1. Гриб-навозник из грота Коралловый (фото Е.П.Дорофеева)

Беспозвоочные. По данной группе троглобионтов были получены наиболее существенные результаты, значительно расширившие существующее представление о спелеофауне Кунгурской Ледяной пещеры. В пробах, взятых в бентали Большого подземного озера (грот Дружбы народов) были выявлены такие группы беспозвоочных, как нематоды (Nematoda), ракушко-вые раки (Ostrakoda), жесткокрылые (Coleoptera) и комары-звонцы (Chironomidae). Все они являются, по-видимому, троглоксенами, попавшими в пещеру во время весеннего половодья. Результаты исследований опубликованы (Паньков, Крайнев, 2003; 2004).

Большой интерес представляют новые данные, полученные по биологии троглобионтного бокоплава *Crangonux chlebnicovi*, который, безусловно, относится к числу самых экзотических представителей гидрофауны Пермской области. С момента описания (1928 год) образ жизни крангоникса Хлебникова оставался совершенно неизученным. В 2003-2004 годах нами отловлено 311 рачков (часть из которых была зафиксирована), общая продолжительность экспозиции составила 632 ловушко-суток. В результате проведенных исследований выяснились цикл развития и возрастная структура популяции, определена продолжительность жизни рачков, которая оказалась значительно больше, чем у бокоплавов из поверхностных вод. Детальное изучение морфологии позволило обосновать выделение обитающих в пещере крангониксов в отдельный подвид, отличающийся от номинативного, описанного Е.В. Боруцким из Большой Мечкинской пещеры (Паньков,

Панькова, 2004). Уточнен ареал крангониксов – в настоящее время кроме Кунгурской и Мечкинской пещер они известны из Ординской пещеры и ключа Шахаровского на р. Иргине (Суксунский район). Таким образом, этот вид имеет исключительно ограниченное распространение, и не выходит за пределы Нижнесысвенского района сульфатно-карбонатного карста. Крангоникс Хлебникова по праву должен быть внесен в списки Красной Книги Пермской области, а может быть, и Красной Книги РФ.

Позвоночные. В июне и августе 2004 г. автор и студент УрГУ А.В. Чернов проводили в пещере отлов мелких млекопитающих. Для этого использовались плашки со стандартной приманкой, установленные в недоступных для посетителей местах. Результативными оказались только уловы, проведенные в августе, когда было отловлено 8 лесных мышей *Apodemus sylvaticus*. Ранее этот вид в пещере не отмечался. Отсутствие мышей в июне и их неожиданное обилие в августе указывает на определенную динамику, проследить которую полностью пока не удалось. Возможно, с наступлением осени часть грызунов целенаправленно переселяется в пещеру. В таком случае относить их к троглоксенам, как мы считали ранее (Наумкин, 2002), неправомерно, и они являются, скорее, троглофилами.

Что касается такой безусловно троглофильной группы, как рукокрылые, то их количество в Кунгурской Ледяной пещере в последние годы остается по-прежнему на очень низком уровне, и крупных зимовочных скоплений нами не выявлено.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андрейчук В.Н., Дорофеев Е.П. Антропогенный фактор и Кунгурская пещера // Кунгурская Ледяная пещера. Пермь: изд-во ПГУ, 1995. Вып.1. С.85-99.
2. Володин А.П., Пшеничнов В.А. Микрофлора Кунгурской Ледяной пещеры // Тр. Перм. стомат. ин-та. Пермь, 1949а. Вып. 8. С. 392-402.
3. Володин А.П., Пшеничнов В.А. К изучению бактериальной флоры Кунгурской Ледяной пещеры // Природа, 1949б. №1. С.75-79.
4. Каптерев П.О. О некоторых пещерах Пермской и Казанской губерний // Землеведение. М., 1913. Вып. 1-2. С. 169-177.
5. Лисина-Кулик Е.С., Барсукова Л.Д. Микрофлора почв, воды подземных озер и льда разных типов Кунгурской Ледяной пещеры // Микология и фитопатология. Л.: Наука, 1967. Т.1. С. 140-146.
6. Наумкин Д.В. Современное состояние исследований троглобионтов Кунгурской Ледяной пещеры // Проблемы экологии и охраны пещер: теоретические и прикладные аспекты. Красноярск, 2002. С. 12-18.
7. Паньков Н.Н., Крайнев Е.Ю. Беспозвоночные животные Кунгурской Ледяной пещеры // Кунгурская Ледяная пещера. 300 лет научной и туристической деятельности. Пермь, 2003. С.183-186.
8. Паньков Н.Н., Крайнев Е.Ю. Беспозвоночные животные - обитатели Кунгурской Ледяной пещеры // Пещеры. Пермь, 2004. Вып.29-30. С. 133-140.
9. Паньков Н.Н., Панькова Н.В. К биологии троглобионтного бокоплава *Crangonyx chlebnikovi* Borutzky, 1928 (Gammaridae) с описанием нового подвида из Кунгурской Ледяной пещеры // Пещеры. Пермь, 2004. Вып.29-30. С. 141-150.
10. Borutzky E.W. Materialien uber die Fauna der unterirdischen Gewasser, *Crangonyx chlebnikovi* sp. n. (Amphipoda) aus den Hohlen des mittleren Urals // Zool. Anz. 1928. Bd.77. S. 253-259.

МЕРОПРИЯТИЯ ПО БЕЗОПАСНОСТИ И БЛАГОУСТРОЙСТВУ КУНГУРСКОЙ ЛЕДЯНОЙ ПЕЩЕРЫ

Кунгурская Ледяная пещера используется человеком с древнейших времен. Древние остяки, населявшие этот регион, хранили в пещере мясо, рыбу. Первые русские поселенцы, подвергавшиеся набегам татар и башкир, использовали пещеру как укрытие. С 1914 года пещера используется как экскурсионный объект. За это время ее посетило более 4,5 миллиона туристов. В связи с этим одной из первоочередной задачей, стоящей перед организацией, эксплуатирующей пещеру является обеспечение безопасности посетителей.

Наибольшей опасностью в пещере для туристов представляются обвалы. К другим факторам можно отнести низкие своды пещеры, возможность скатывания обломочного материала и глины с осыпей, расположенных вдоль тропы, отсутствие перил на неудобных участках тропы и плохое техническое состояние самой тропы.

На сегодняшний день длина оборудованной экскурсионной тропы в пещере составляет 1750 м, ее площадь 3271 м². По большому кольцу тропа бетонирована, в гроте Данте часть тропы длиной 30 метров выложена плиткой. По малому кольцу тропа состоит из естественных отложений глины и щебня, в гротах Смелых и Колизей тропа идет по искусственной насыпи. Смотровые площадки в пещере имеются в гротах Бриллиантовый, Данте, Руины, Метеорный, Центральный, Эфирный, Хлебниковых, Великан. Общая площадь бетонного покрытия в пещере на сегодняшний день составляет 2500 м². В пещере проложено 4 искусственных тоннеля общей длиной 194 м. Вдоль экскурсионного маршрута выложены подпорные стенки, защищающие тропу от скатывающихся с осыпей обломочного материала и глины. Всего их в пещере 27 штук, и их длина составляет 356 метров. Кроме стенок в пещере имеются 19 колонн общей площадью 41 м². Подсобные помещения в пещере используются для размещения электрооборудования и хозяйственных целей. Всего в пещере 11 подсобных помещений общей площадью 55 м². Подпорные стенки, колонны и подсобные помещения сложены из обломков гипса и ангидрита и скреплены цементом. В пещере имеются металлические опоры. В гротах Атлантида (2 шт.) и Длинный (3 шт.) установлена шахтная крепь. В гроте Вышка до 2004 года стояли стальные балки общей длиной 228 метров, при весе каждого метра 58 кг общий вес балок в гроте составлял 13 тонн 300 кг.

Особое внимание к обвалоопасности заслуживают первые гроты пещеры (Бриллиантовый, Полярный, Данте, Крестовый). Достаточно устойчивые своды наблюдаются в гротах, замороженных до отрицательных температур, поскольку все трещины в них заполнены нетающим льдом, который скрепляет блоки породы как цемент. Гроты, которые находятся в зоне сезонных колебаний температур вблизи нулевой отметки (гроты Крестовый, Морское Дно, Вышка) отличаются наименьшей устойчивостью сводов. Здесь происходят процессы физического выветривания, при котором вода в трещинах породы, многократно замерзая и оттаивая, вызывает обрушение сводов.

При прокладке пешеходных дорожек в пещере в 1970-х годах бетон клался как на мерзлый грунт, так и на лед (от входа до середины Крестового грота). Поэтому повышение температуры в гротах выше отрицательной ведет к оттаиванию грунтов в основании дорожек, что чревато не только их провалом, но и опусканием подпорных колонн и, тем самым, ослаблением устойчивости сводов.

Так в 2000 году в гроте Крестовый в результате смещения зоны постоянного оледенения ближе ко входу произошло провал бетонной тропы. В гроте Вышка металлические опоры, защищающие тропу от обрушения сводов, за 20 лет просели до 20 см. Свою защитную функцию они выполнять перестали и сами стали представлять опасность из-за возможности падения на тропу. Маячки, установленные на трещинах в породе по экскурсионному маршруту, в некоторых местах треснули или выпали. На экскурсионной тропе или в непосредственной близости произошло три обвала (грот Дружбы Народы, Руины, Великан). В гроте Великан обвал оценивается в несколько тонн.

Исходя из вышесказанного, сотрудниками Кунгурской лаборатории-стационара были выданы рекомендации для ОАО «Пермтурист», эксплуатирующего пещеру для проведения работ, связанных с обеспечением безопасности посетителей и поддержанию зоны постоянно отрицательных температур на одном и том же удалении от входа в пещеру.

В I-ом полугодии 2004 года производственным объединением ООО «Строительно-монтажный трест Березниковское шахтно-строительное управление» и Кунгурской лабораторией-стационаром были произведены следующие работы (рис.1):

В Старом входе был произведен демонтаж старых дверей и установка новых железных дверей с решеткой, площадью 2 м^2 , а также отчистка входа от слежавшегося льда – $4,9 \text{ м}^3$, демонтаж старой и монтаж новой деревянной крепи – 8 шт.

В гроте Бриллиантовый была установлена анкерная крепь – 14 шт., для восстановления сублимационных кристаллов в гроте Бриллиантовом зимой 2004 года была произведена расчистка ото льда и глыб старого входа на участке протяжением 10 м до сечения 1.0 (высота) x 0.7 (ширина). Удалено скопление льда и глыб в центральной части Бриллиантового грота. Для улучшения циркуляции увлажненного воздуха выполнена расчистка Телячьего хода до сечения 1,3 м. В результате на потолке грота начался рост кристаллов.

В гроте Данте выполнено обрушение породы, объемом 2 м^3 и установлена анкерная крепь в количестве 18 шт.

В гроте Крестовый была произведена кладка опорных столбов, объемом 1 м^3 и установка анкерной крепи в количестве 12 шт.

В гротах Руины, Скульптурный и Эфирный были произведены обрушения объемом 3, 7 и $0,5 \text{ м}^3$ соответственно.

В гроте Дружбы Народов был осуществлён перенос ограждения и тропы, длиной 27 м, при ширине 1,2 м и толщине слоя 0,15 м. Общий объем нового участка тропы составил $4,86 \text{ м}^3$.

В гроте Длинный было произведено обрушение породы, объемом 1 м^3 , установка анкерной крепи – 14 шт. и кладка опорной стенки, объемом 3 м^3 .

В гроте Великан установлена анкерная крепь – 6 шт., произведён демонтаж и перенос ограждения смотровой площадки - 8 м.п., а также обрушение породы, объемом 2 м^3 .

В гроте Вышка демонтированы опорные балки и вынесены на земную поверхность. Масса всех металлоконструкций, вынесенных из пещеры, составила около 15 тонн.

На сегодняшний день работы по безопасности не закончены. За 2004 год сейсмостанция, установленная в пещере зафиксировала 20 обрушений, 10 из которых были зафиксированы сотрудниками стационара визуально. В начале марта 2005 года в гроте Вышка произошло 2 обрушения рядом с экскурсионной тропой по $0,3 \text{ м}^3$ каждое.

Все они произошли в местах, где работы по безопасности не велись. Таким образом, были выделены участки, которые требуют продолжения работ, связанных с обеспечением безопасности. В первую очередь - это всё пространство над тропой в гроте Вышка и проходе Дамские Слёзки, а также своды в гротах Колизей, Грозный и Геологов.

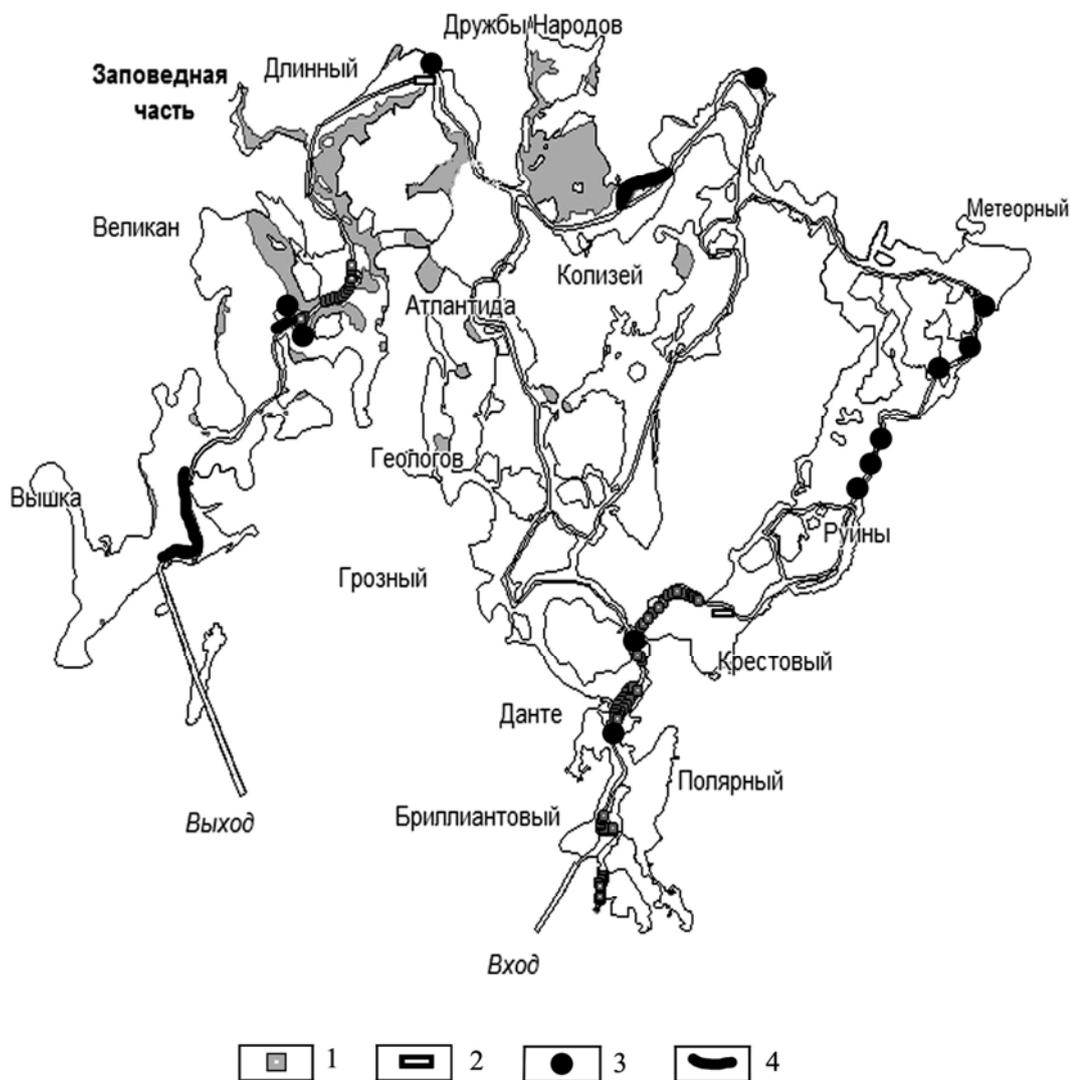


Рис. 1. Расположение штанговой крепи, опорных стенок и места обрушений.
 1 – штанговые крепи, 2 – опорные стенки, 3 – места обрушений,
 4 – отремонтированная тропа

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дублянский В.Н., Кадебская О.И. По Кунгурской Ледяной пещере. Пермь. 2004. 91 с.
2. Кадебская О.И. Автореферат диссертации. Пермь. 2004. 28 с.
3. Лукин В.С. Работы по восстановлению природного режима Кунгурской Ледяной пещеры // Пещеры. Пермь: Изд-во Перм. ун-та. 1963. Вып. 3. С. 35-42.

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

С.Г. Бычков

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ПЕРМСКОМ ПРИКАМЬЕ

В условиях стабилизации добычи нефти и снижения эффективности геологоразведочных работ проблема поисков новых направлений освоения природных ресурсов сравнительно слабоизученных районов и земель Пермской области и Коми-Пермяцкого АО является весьма актуальной и первостепенной в деле укрепления и дальнейшего развития минерально-сырьевой базы края. В этом отношении огромная слабоизученная территория (Камский свод, Верхнепечорская и Юрюзано-Сылвенская депрессии, Колвинская седловина, Передовые складки Урала и Вычегодский прогиб), расположенная на севере Волго-Уральской и на юге Тимано-Печорской нефтегазоносных провинций, представляют собой значительный резерв в пополнении промышленных запасов углеводородов.

Опыт проведения региональных геофизических исследований на территории Пермской области и в Удмуртской республике [1-7] позволил сформулировать основные принципы методики, обосновать технологии извлечения информации из результатов наблюдений и определить основные этапы региональных комплексных геолого-геофизических работ.

1. Проведение полевых сейсморазведочных и гравиметрических работ по системе региональных профилей. По результатам интерпретации данных сейсморазведки прослеживаются основные отражающие горизонты, строятся временные и глубинные сейсмогеологические разрезы, литолого-фациальные схемы.

2. Комплексная интерпретация в профильном варианте результатов полевых геофизических работ позволяет решить следующие задачи: определение степени проявления в наблюдаемом гравитационном поле структур и приподнятых участков, выделяемых сейсморазведкой по разным отражающим горизонтам; решение двумерной обратной линейной задачи гравиразведки (подбор плотностей при жестко закрепленных границах) с определением плотностных характеристик основных толщ, выделенных по данным сейсморазведки, а в ряде случаев на основе комплексной переинтерпретации данных - коррекция сейсмических границ, когда подбором плотности не удается добиться удовлетворительного совпадения кривых Δg или получить геологически обоснованный плотностной разрез; коррекция положения разрывных нарушений, выделяемых в осадочном чехле и фундаменте, совместно с данными магниторазведки наметить зоны возможного развития интрузивных образований и других неоднородностей строения фундамента.

Итогом профильных геофизических работ является построение для территории каркасной геофизической модели, имеющей опорные значения на профилях и интерполированные значения между ними.

3. Площадная интерпретация геопотенциальных полей и на ее основе комплексная переинтерпретация всего массива геолого-геофизической информации. Опираясь на профильные гравиметрические работы, выполняется увязка аномалий силы тяжести, полученных при съемках прошлых лет различного масштаба, составляется сводная гравиметрическая карта на всю площадь исследований. Прослеживание выделенных ранее зон и объектов вне системы профилей осуществляется путем построения гравитационных «коридоров», что позволяет проследить распространение за пределы линии профиля выделенных в ходе профильных геофизических работ основных черт строения геологической толщи.

При выполнении общего и детального анализа гравитационного и магнитного полей используются различные трансформанты системы VECTOR [8] и их отображения - трехмерные диаграммы гравитационного и магнитного полей, карты, вертикальные разрезы вдоль различных направлений, в том числе и по линиям профилей, что позволяет изучить получить представление о закономерностях поля для исследуемой территории.

4. После проведения интерпретации геопотенциальных полей на отдельных участках результаты обобщаются на сводных картах, создаваемых для различных интервалов глубин. Дополнительную информацию дают результаты аэрокосмо-геологических исследований и обобщенный геологический, геоморфологический и неотектонический анализ изучаемой территории.

Результатирующий набор карт с выделенными по результатам комплексной интерпретации прогнозными объектами и зонами позволяет наметить площади для следующего этапа изучения территории - зонально-региональных работ.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант 04-05-96074.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бычков С.Г. Основные направления совершенствования теории и практики гравиметрических исследований в Пермском Прикамье // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: Материалы 32-й сессии Международного семинара. Пермь: ГИ УрО РАН, 2005 С.32-34.

2. Бычков С.Г. Совершенствование теории и практики гравиметрических исследований в Горном институте // Стратегия и процессы освоения георесурсов: Материалы науч. сессии Горного института УрО РАН. Пермь, 2004. С. 109-112.

3. Направления и результаты гравиметрических исследований на территории Прикамья / С.Г. Бычков, В.Л. Воеводкин, В.М. Новоселицкий и др. // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: Материалы 31-й сессии Международного семинара М.: ОИФЗ РАН, 2004. С. 14-15.

4. Бычков С.Г., Неганов В.М., Новоселицкий В.М. Программные принципы региональных геофизических работ, реализуемые на северо-востоке Урало-Поволжья // Приоритетные направления геологоразведочных работ на территории Приволжского и Южного Федеральных округов в 2004-2010 гг.: Материалы науч.-практ. региональной конф., Саратов, СО ЕАГО, 2003. С. 89-90

5. Бычков С.Г., Фурман В.Ф. Изучение глубинного строения территории Удмуртской республики по сейсмо-, грави-, магниторазведочным данным // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: Материалы 31-й сес. Международного сема. Москва: ОИФЗ РАН, 2004. С. 15-16.

6. Геник И.В., Зотеев М.С. Применение гравитационного моделирования для построения каркасной физико-геологической модели строения Юрюзано-Сылвенской депрессии // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: Материалы 32-й сес. Международного сем. Пермь: ГИ УрО РАН, 2005. С. 50-54.

7. Методические аспекты комплекса региональных сейсмо-, грави-, магниторазведочных исследований, проводимых в Пермском Прикамье / В.М. Новоселицкий, В.М. Неганов, С.Г. Бычков и др. // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: Материалы 32-й сес. Международного сем., Пермь: ГИ УрО РАН, 2005. С. 208-212.

8. Программа интерпретации геопотенциальных полей методом векторного сканирования VECTOR / В.М. Новоселицкий, В.А. Кутин, М.С. Чадаев и др.: Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2004611611 от 01.07.2004 г. в Российском агентстве по патентам и товарным знакам.

Н.В. Веселкова

АНАЛИЗ ПОГРЕШНОСТЕЙ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ИНТЕРПОЛЯЦИИ НА ОСНОВЕ СТАТИСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Построение топографических, геофизических и геологических карт тесно связано с решением задачи восстановления геолого-геофизических признаков в точках, где отсутствуют измерения, т.к. наблюдения носят дискретный характер. Восстановление геолого-геофизических признаков в заданных точках пространства необходимо проводить с учетом следующих факторов: в исходных данных всегда присутствует случайная компонента; структура сети наблюдений является неравномерной; недостаточное минимальное число исходных данных; необходимость учета косвенных данных; возможное отсутствие сведений о свойствах восстанавливаемой функции $\varphi(x,y)$ [3].

При геолого-геофизическом моделировании неизбежно используется интерполяция. Применение различных методов интерполяции приводит к существенному различию в построении структурных карт. Вопрос выбора подходящего метода интерполяции, при решении конкретной задачи крайне актуальный. Существует большое количество методов интерполяции, сложились определенные направления в разработке и применении интерполяционных схем от универсальных до специфических, между которыми можно установить черты сходства и отличия. Желательно, чтобы метод был достаточно универсальным, пригодным при разных уровнях помех, слабо зависел от структуры сети исходных данных, обладал высокой точностью на широком классе функций $\varphi(x,y)$ (признаков). Известно, что чем больше данных о свойствах класса функций $\varphi(x,y)$, тем лучший по точности метод приближения можно построить [2].

В геологии часто известны лишь некоторые общие свойства наблюдаемых признаков, но необходимо, чтобы применяемый метод имел оценку точности и не только качественную. С учетом неоднозначности полученных результатов и с трудностью их объективного сравнения возникает задача оценки применяемых методов и разработки методики объективного сравнения методов интерполяции.

Для оценки различий в значениях отметок высот, снятых с топокарт и высотных отметок, полученных при нивелировании по гравиметрическим профилям, были сопоставлены данные о высотах на Сусанинской площади. При интерполяции первичных данных в узлы равномерной сети для создания цифровой модели местности (ЦММ) возникла необходимость оценки погрешности интерполяции.

Были выбраны 4 популярных алгоритма интерполяции, реализованные в программе SURFER и созданы 4 различные ЦММ Сусанинской площади:

- метод взвешенных расстояний (inverse distance to a power);
- метод крайгинга (kriging);
- метод триангуляции (triangulation with linear interpolation);
- метод локальных полиномов (lokal polynomial).

В таблице 1 представлены различия Δh между ЦММ в метрике Чебышева

$$F1 = \max /h_{ij}^k - h_{ij}^{l \neq k}/$$

и в квадратичной метрике

$$F2 = (\sum \sum (h_{ij}^k - h_{ij}^{l \neq k})^2 / mn)^{0.5};$$

$i=1,2,\dots,m, j=1,2,\dots,n; k=1,2,3,4; l=1,2,3,4.$

Шаг ЦММ $\Delta x = \Delta y = 50$ м, размер матриц: $m=307$ строк, $n=285$ столбцов.

Таблица 1

Различия Δh отметок рельефа местности, построенных с помощью разных методов интерполяции исходных картографических данных

Способ интерполяции высот		Расхождения высот Δh , м		
		метод крайгинга	метод триангуляции	метод локальных полиномов
метод взвешенных расстояний	F1	20,21	9,31	12,51
	F2	$\pm 2,18$	$\pm 1,47$	$\pm 2,26$
метод крайгинга	F1		12,75	19,38
	F2		$\pm 1,12$	$\pm 3,80$
метод триангуляции	F1			14,76
	F2			$\pm 3,24$

Значения высот в узлах ЦММ, полученные различными способами интерполяции отличаются друг от друга. Наиболее близкие результаты дают метод взвешенных расстояний и триангуляции, наиболее различаются между собой – крайгинг и метод локальных полиномов. Приоритета какого-то одного из методов не выявлено. Результаты сопоставления высотных отметок, кроме того, несут в себе дополнительную погрешность использованных методов интерполяции и свидетельствуют о наличии значительной погрешности, возникающей при построении топографических карт для горно-таежной местности.

Задача интерполяции является некорректной, т.к. существует множество ее решений. При решении каждой конкретной задачи необходимо использование представленной методики статистического моделирования для оценки практического применения используемых методов интерполяции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аналитические аппроксимации пространственного распределения геолого-геофизических параметров / А.С. Долгаль, А.В. Пугин, Киев: Геоинформатика, 2004. С.33

2. Методика объективного сравнения методов интерполяции / В.В. Масюков, В.И. Шленкин, А.В. Масюков. Геомодель-2004. 1. С.15-17.

3. Методы построения карт геолого-геофизических признаков и геометризации залежей нефти и газа на ЭВМ / В.И. Аронов. М.: Недра, 1990.

СОЗДАНИЕ КАРКАСНОЙ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СТРОЕНИЯ ЮРЮЗАНО-СЫЛВЕНСКОЙ ДЕПРЕССИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГРАВИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Геолого-геофизическая изученность Пермской области с нефтегазопосковыми целями весьма неравномерная. Выход поисковых работ в новые регионы обусловлен снижением добычи нефти в "старых" районах нефтедобычи. На региональной стадии геолого-геофизического изучения [3] вначале проводятся профильные геофизические работы, позволяющие на современной аппаратурной и интерпретационной основе получить новую информацию и дать основу для обобщения результатов выполненных ранее исследований. Одной из территорий, где проводятся региональные работы, является часть Юрюзано-Сылвенской депрессии (ЮСД), расположенная в пределах Пермской области.

В Юрюзано-Сылвенской депрессии были проведены сейсморазведочные и гравиметрические работы по пяти региональным профилям (протяженностью 450 км). Гравиметрическая съемка выполнена по профилям с шагом 200 м. Погрешность определения значений аномалий силы тяжести составила ± 0.050 мГал. Для системы сейсморазведочных и гравиметрических профилей была выполнена комплексная интерпретация, включающая гравитационное моделирование [1, 2], с использованием аэромагнитных и других геолого-геофизических данных с целью построения для ЮСД каркасной модели геологического строения, являющейся основой для последующей площадной интерпретации. Применение гравитационного моделирования обусловлено тем, что использование только методов качественной интерпретации (построение различных трансформант гравитационного поля) позволяет только в случае унаследованности структурных планов или плотностного строения с достаточной точностью выделять целевые геологические объекты. Рассмотрим этапы комплексной интерпретации.

Первым этапом в интерпретации профильных данных является построение графиков наблюдаемого гравитационного поля и сопоставление с ними крупных гравитационных аномалий, а также структур и приподнятых участков, выделяемых сейсморазведкой, что позволяет наметить участки со сложным геолого-плотностным строением, в случае если указанные объекты не определяются визуально в наблюдаемом поле. На территории Юрюзано-Сылвенской депрессии выделяется Березовский максимум гравитационного поля, представляющий собой интенсивную аномалию северо-восточного простирания шириной 15-20 км, амплитудой до 25.1 мГал, характеризующуюся высокими градиентами поля - до 2 мГал/км и более. По кровле нижнепермских карбонатных отложений выделяется субмеридиональный нижнепермский седиментационный уступ, проходящий в центральной части ЮСД, почти не отмечающийся в наблюдаемом поле.

Второй этап состоит в определении региональных закономерностей [4] плотностного строения территории и составлении опорной плотностной модели осадочной толщи и фундамента по системе профилей. В разрезе выделяются следующие комплексы: архей-нижнепротерозойский, соответствующий кристаллическому фундаменту; нижнерифейский карбонатно-терригенный комплекс; нижнерифейский терригенно-карбонатный; вендский терригенный; палеозойский преимущественно карбонатный. Палеозойский комплекс включает серию толщ, с поверхностями которых связаны основные отражающие горизонты палеозоя:

верхнедевонская терригенная, верхнефранско-турнейская карбонатная, визейская терригенная, верхневизейско-башкирская карбонатная, верейская терригенно-карбонатная, среднекаменноугольно-нижнепермская сульфатно-карбонатная и нижнепермская терригенная толщи. Следует отметить, что кровля карбонатных отложений артинского яруса залегает несогласно с нижележащими горизонтами и погружается в региональном плане с востока на запад примерно на 570 м.

Третий этап заключается в решении прямых задач - в расчете гравитационных эффектов для исходных моделей. По результатам этого этапа намечаются части профилей, где имеется расхождение наблюденного и модельного полей. Для исходных моделей среднее квадратическое расхождение расчетного и наблюденного полей составляло от 2.28 до 9.07 мГал. Наименьшие значения характерны для профиля V и для профиля I (за исключением северной части) профиля.

Четвертый этап интерпретации профильных данных включает: а) решение двумерной обратной линейной задачи гравиразведки (подбор плотностей при жестко закрепленных границах), что дает плотностные характеристики осадочных толщ и фундамента; б) комплексную переинтерпретацию геолого-геофизических данных с выделением зон возможного развития неоднородностей строения фундамента, их вероятного прослеживания в осадочном чехле, с уточнением положения разрывных нарушений и коррекцией сейсмических границ (в основном - допалеозойских толщ). Коррекция границ выполняется, когда подбором плотности не удастся добиться удовлетворительного совпадения наблюденной и расчетной кривых гравитационного поля при геологически обоснованных ограничениях на пределы и градиент изменения варьируемых параметров.

На рисунке представлен пример подбора по субширотному профилю V-V. Для профиля формы рассчитанных графиков гравитационного поля для исходной (кривая 3) и результирующей (кривая 2) моделей довольно близки, в отличие от профилей, проходящих в севернее, особенно в районе Березовского максимума гравитационного поля. В ходе комплексной переинтерпретации были скорректированы в сторону увеличения глубины залегания фундамента: а) в западной трети профиля на 200-250 м; б) в восточной половине профиле – более чем на 1000 м. В результате подбора получены повышенные значения плотности в осадочном чехле и фундаменте западной половины профиля V- V. Полученные при подборе гравитационного поля значения глубин и плотностей для разных профилей были увязаны между собой в местах их пересечения.

Пятый этап - построение на основе результатов профильной интерпретации схематических структурных карт для основных гравиактивных границ - кровли фундамента, верхнефранско-турнейской и нижнепермской карбонатных толщ; построение схематических карт плотностей осадочных толщ и фундамента и расчет их гравитационных эффектов, что позволяет выделить путем сравнения с региональной гравиметрической картой зоны, отличающиеся своим плотностным строением.

Таким образом, выполненное гравитационное моделирование позволило создать опорную геолого-геофизическую модель Юрюзано-Сылвенской депрессии, уточнить строение фундамента, расширить и дополнить геологические представления о строении вышележающих отложений, проследить унаследованность строения осадочных толщ вверх по разрезу в региональном плане. Построенная в результате интерпретации профильных работ для Юрюзано-Сылвенской депрессии геофизическая модель является каркасной, обеспечивая опорные значения на профилях и интерполированные значения между ними. Дальнейшее уточнение модели происходит при проведении площадной интерпретации геопотенциальных полей

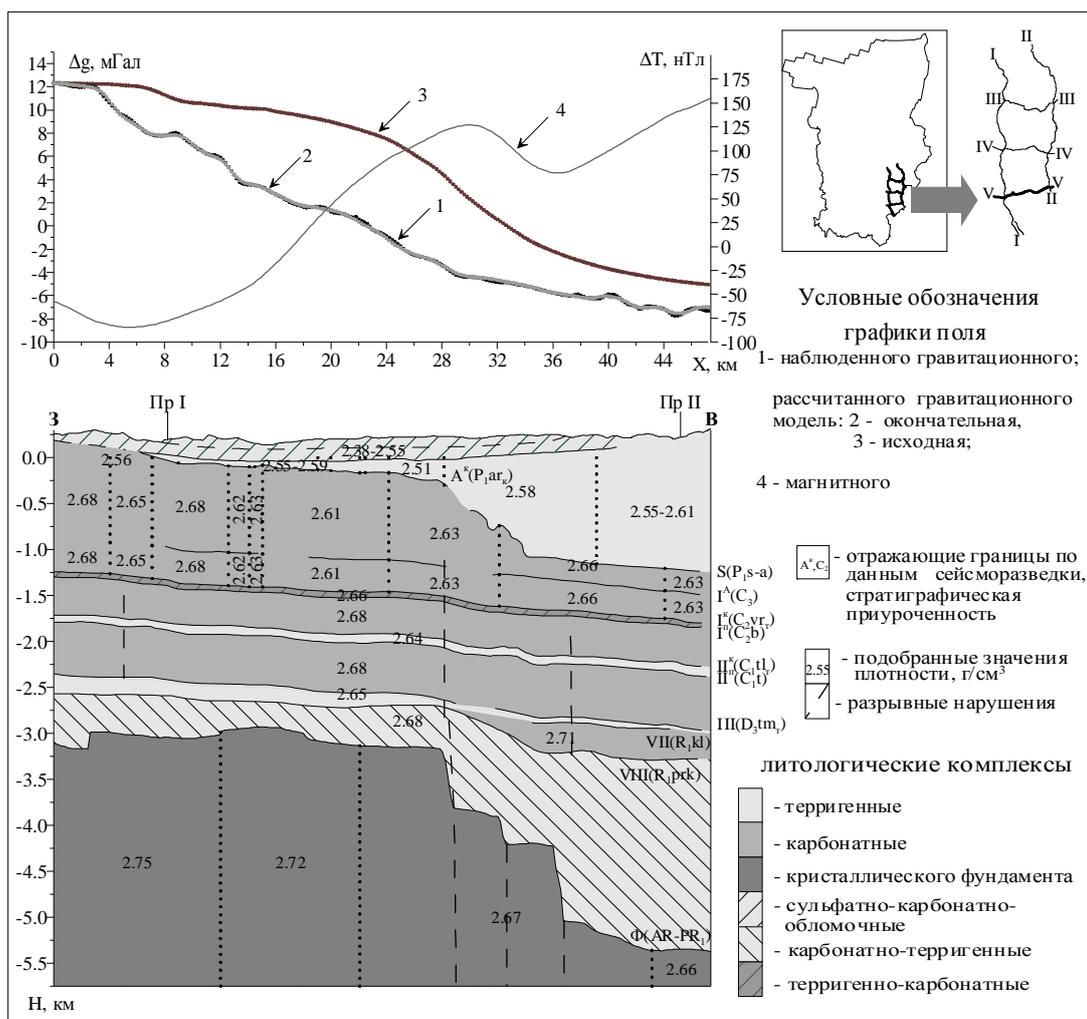


Рис. Геолого-геофизическая модель по линии профиля V-V (Суксун-Молебка)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геник И.В. Изучение строения Предуральяского краевого прогиба методами гравиметрии // "Стратегия и процессы освоения георесурсов". Материалы научной сессии Горного института УрО РАН по результатам НИР в 2003 году. Пермь, 2004. – С.116-120.
2. Геник И.В., Чадаев М.С. Применение детальной гравиразведки при поисках нефтеперспективных объектов на северо-востоке и востоке Пермского Прикамья // "Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей". Мат-лы 31-й сессии Межд. сем. Им. Д.Г. Успенского. – Москва, ОИФЗ РАН, 2003. – С. 19-20.
3. Методические аспекты комплекса региональных сейсмо-, грави-, магниторазведочных исследований, проводимых в Пермском Прикамье / Новоселицкий В.М., Неганов В.М., Бычков С.Г., Геник И.В., Зотеев М.С. // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: Материалы 32-й сессии Международного семинара им. Д.Г.Успенского, Пермь, 24-29 января 2005 г., С.208-212.
4. Новоселицкий В.М., Проворов В.М., Шилова А.А. Физические свойства пород осадочного чехла севера Урало-Поволжья. Свердловск, УНЦ АН СССР, 1985. 134 с.

РЕАЛИЗАЦИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ ГРАВИМЕТРИИ И МАГНИТОМЕТРИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЕТОЧНЫХ МОДЕЛЕЙ ИСТОЧНИКОВ

Проблема приближенного решения обратных задач гравиметрии и магнитометрии до сих пор является весьма актуальной. Одним из инструментов количественной интерпретации аномалий геопотенциальных полей является интегральный метод.

Впервые метод определения интегральных характеристик изолированных возмущающих тел (суммарной массы, координат центра тяжести и т.д.) по гравитационным аномалиям был предложен Г.А. Гамбурцевым [1]. Затем метод развивался и обобщался многими учеными – А.А. Заморевым, В.К. Ивановым, А.П. Казанским, К.Ф. Тяпкиным, Д.С. Миковым, В.Н. Страховым, Е.Г. Булахом, П.И. Балком и др. [1, 2, 3].

Предлагается новая модификация интегрального метода, использующая сеточные модели источников поля и адаптивный алгоритм вычисления двойных несобственных интегралов 1-го рода от сравнительно медленно убывающих функций, базирующийся на методе Монте-Карло [4]. Для интегрирования применяется метод усечения отрезков (площадей) [5].

Алгоритм определения интегральных характеристик изолированного гравитирующего объекта включает в себя следующие операции:

- аппроксимацию наблюдаемого гравитационного поля сеточной моделью источников (точечных масс) с точностью, сопоставимой с точностью вычисления аномалий Буге;
- визуальное выделение фрагмента моногеничной аномалии гравитационного поля Δg (экстремума и прилегающей к нему области) и построение многоугольного контура аномальной области \mathcal{S} ;

- расчет массы M и горизонтальных координат x_u, y_u центра тяжести аномалиеобразующего объекта по параметрам аппроксимационной конструкции:

$$M = \iint_{\mathcal{S}} dm ; \quad x_u = \iint_{\mathcal{S}} x dm / M ; \quad y_u = \iint_{\mathcal{S}} y dm / M ;$$

- внешний цикл (по подобластям $S_i, i = 1, 2, \dots, N$): определение границ i -ой подобласти интегрирования S_i , восстановление вторых горизонтальных производных гравитационного потенциала V_{xz}, V_{yz} решением прямой задачи на горизонтальной плоскости $z = const$ в P равномерно распределенных в пределах S_i точек, вычисление двойных интегралов $J_i^1 = \iint_{S_i} |V_{xz}| dx dy, \quad J_i^2 = \iint_{S_i} |V_{yz}| dx dy,$

$J_i^3 = \iint_{S_i} V_{xz} x dx dy, \quad J_i^4 = \iint_{S_i} V_{yz} y dx dy$ методом Монте-Карло [4];

- внутренний цикл (по точкам задания поля P): оценка точности Δ_i расчета интегралов: при достижении требуемой точности происходит переход к новой подобласти интегрирования S_{i+1} , в противном случае – выполняется увеличение числа точек P , в которых определяются значения функций (путем генерации новых псевдослучайных чисел);

- вычисление полных значений интегралов $J^k = \sum_{i=1}^N J_i^k$, $k = 1, 2, \dots, 4$ и расчет вертикальной координаты z_u (глубины) центра тяжести источника аномалии:

$$z_u = \frac{2}{\pi} \iint_S M / J^1; \quad z_u = \frac{2}{\pi} \iint_S M / J^2; \quad z_u = -\frac{2}{\pi} J^3 / J^1; \quad z_u = -\frac{2}{\pi} J^4 / J^2.$$

Данный алгоритм был реализован в программе INTEGRAL. Ниже приведен модельный пример, иллюстрирующий ее возможности.

В пределах участка размером 50×50 км на криволинейной поверхности с перепадом высот от 164 м до 367 м было рассчитано поле Δg , обусловленное тремя сферами. Значения Δg были осложнены случайной помехой, распределенной по закону Гаусса с дисперсией $D = 0.25$ мГал, а также нелинейным региональным фоном интенсивностью до 3.33 мГал. Среднеквадратическая погрешность аппроксимации поля не превышала ± 0.02 мГал. Производные V_{xz}, V_{yz} вычислялись на уровне $z = 400$ м.

Таблица

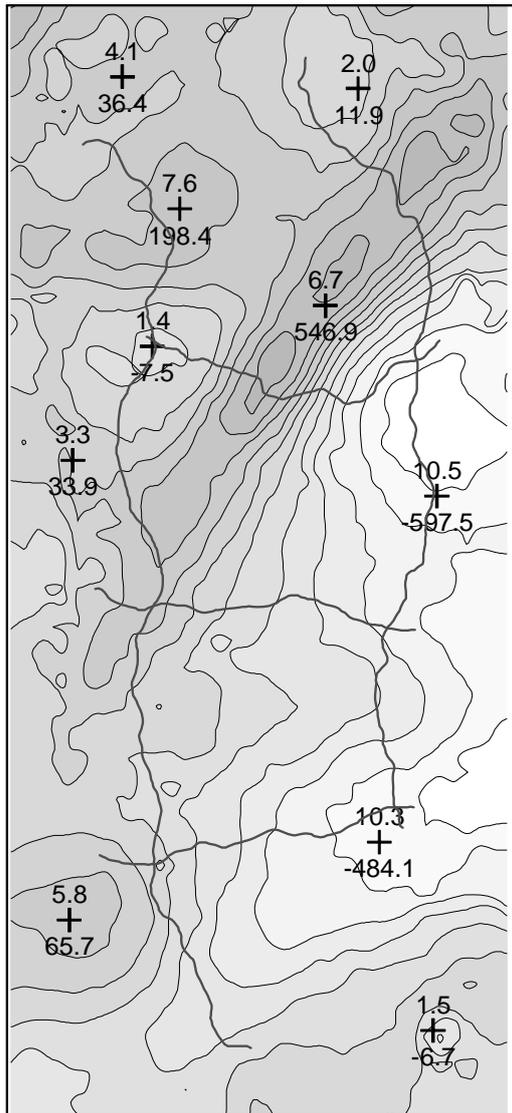
Результаты тестирования программы INTEGRAL

Данные	Название параметра	Значение параметра и относительная погрешность его определения					
		Аномалия № 1		Аномалия № 2		Аномалия № 3	
		Значение	Погрешность, %	Значение	Погрешность, %	Значение	Погрешность, %
1	2	3	4	5	6	7	8
Модель	Масса M , $\times 10^9$ т	1.26	-	6.70	-	26.79	-
	x_u , км	10	-	20	-	35	-
	y_u , км	40	-	20	-	30	-
	z_u , км	4	-	5	-	10	-
Тест 2	Масса M , $\times 10^9$ т	1.22	3.2	7.90	17.9	12.39	53.8
	x_u , км	10.59	5.9	21.67	8.4	37.50	7.1
	y_u , км	40.29	0.7	20.32	1.6	30.58	1.9
	z_u , км	4.25	6.3	5.31	6.2	8.91	10.9

Установлено, что созданная модификация интегрального метода дает достаточно устойчивые оценки параметров возмущающих объектов с приемлемой для практики точностью и имеет несомненные преимущества перед некоторыми традиционно применяющимися методами интерпретации геопотенциальных полей (в частности – перед деконволюцией Эйлера).

Программа INTEGRAL применялась при интерпретации данных гравиметрической и магнитной съемок по территории Юрюзано-Сылвенской депрессии (ЮСД). При этом $N = 6$; соотношение размеров подобластей $S_{i+1}/S_i = 3$; для оценки точности численного интегрирования использовался параметр $\Delta_i = \left\{ \frac{J_{P+1}^k - J_P^k}{J_P^k} \right\} \leq 0.03$, где J_P^k и J_{P+1}^k – значения интегралов в подобласти S_i , рассчитанные при некотором начальном числе узлов

интегрирования P и при его увеличении 2.25 раза, соответственно (при $k = 1, 2, \dots, 4$).



Условные обозначения

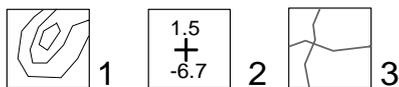


Рис. 1. Результаты интерпретации гравитационного поля ЮСД интегральным методом:
 1 – изоаномалы поля;
 2 – центр тяжести источника (вверху – значение $z_{\text{ц}}$, км; внизу – $M, \times 10^9$ т);
 3 – сейсмопрофили

При интерпретации поля силы тяжести ЮСД удалось разбраковать аномалии, связанные с глубинными магматическими телами и с зонами разуплотнения (уплотнения) горных пород в осадочном чехле (рис. 1). Источники крупных магнитных аномалий все без исключения локализируются в пределах фундамента и, предположительно, являются интрузивными телами основного или ультраосновного состава. Одно из этих тел имеет суммарную намагниченность, направленную против современного магнитного поля Земли. Полученные оценки интегральных характеристик возмущающих объектов использовались при последующем моделировании геологических разрезов методом подбора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Страхов В.Н., Лапина М.И. Определение интегральных характеристик возмущающих масс аппроксимационным методом в задачах гравиметрии и магнитометрии // Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли. 1975. № 4. С. 35-58.
2. Балк П.И. Аналитическое решение трехмерной обратной задачи гравиметрии по гармоническим моментам // Геология и геофизика. 1975. № 4. С. 117-122.
3. Долгаль А.С., Маркова М.Н., Якимчук Н.А. Решение обратных задач гравиразведки с помощью программируемых микрокалькуляторов / Деп. ВИНТИ № 5426 –В29. 1989. 12 с.
4. Соболев И.М. Метод Монте-Карло. М.: Наука, 1968. 64 с.
5. Каханер Д., Моулер К., Нэш С. Численные методы и программное обеспечение / Пер. с англ. М.: Мир, 2001. 575 с.

«ПУСКОВОЙ ЭФФЕКТ» ПРИ ПРОВЕДЕНИИ СТАНДАРТНЫХ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА КОМСОМОЛЬСКОМ ГАЗОВОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ

1. Эффективность применяемых методов газодинамических исследований (ГДИ) скважин зависит от того, в какой степени используемые технологии учитывают конкретные геолого-технологические характеристики газового месторождения.

Процесс перераспределения давления в пласте или, как принято называть этот процесс, стабилизация давления и дебита после пуска, зависит от фильтрационных и ёмкостных параметров пористой среды и насыщающих её жидкостей и газов. Используя эту зависимость (рис. 1), можно определить параметры пласта.

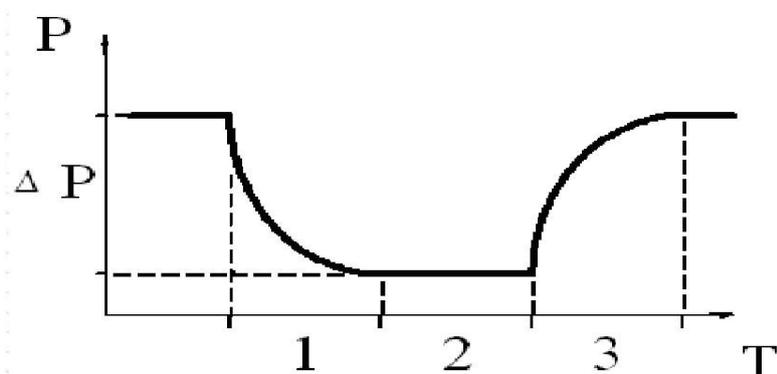


Рис. 1.

2. Точность измерения этих параметров зависит от точности используемых манометров, дифманометров и термометров. Искажающими форму кривой стабилизации давления (КСД) прежде всего являются ошибки, допускаемые при измерении пластового и забойного давления и дебита. Погрешности ранее выпускаемых промышленностью приборов были соизмеримы с величиной изменения ΔP и ΔT , поэтому начальный участок графика КСД фактически не интерпретировался.

Эти сложности особо проявились при освоении сеноманских газовых залежей, высокопродуктивные скважины которых характеризуются небольшими депрессиями (от 0,2 до нескольких атмосфер) и малыми периодами релаксации пьезоэффектов (восстановление и стабилизация давления).

3. Опыт ООО «Ноябрьскгаздобыча» (ООО–НГД) по созданию промысловых технологий регистрации КСД и кривых восстановления давления (КВД) с помощью высокоточных электронных манометров позволяет получить возможность обработки КСД и КВД различных агрегатных процессов в высокопродуктивных газовых скважинах.

Пуск эксплуатационной газовой скважины на определённом режиме приводит к перераспределению давления и температуры в системе «пласт-ствол-устье» скважины, характеризуя процесс термобарической релаксации (ТБР). Формирование пусковой депрессии в хороших коллекторах происходит достаточно быстро (единицы минут и менее), однако они чётко выделяются на начальных участках КСД при регистрации современными цифровыми приборами. Помимо пьезоэффектов в пусковой период, обозначенный как первая (начальная) фаза КСД, мо-

жет происходить ряд «технологических эффектов» (ТЭ), которые в значительной степени искажают КСД и приводят к невозможности её интерпретации.

4. При испытании скважин Восточного купола сеноманской газовой залежи Комсомольского газового месторождения (ВК-КГМ) глубинными высокоточными приборами обнаружен интересный «пусковой эффект» (рис. 2).

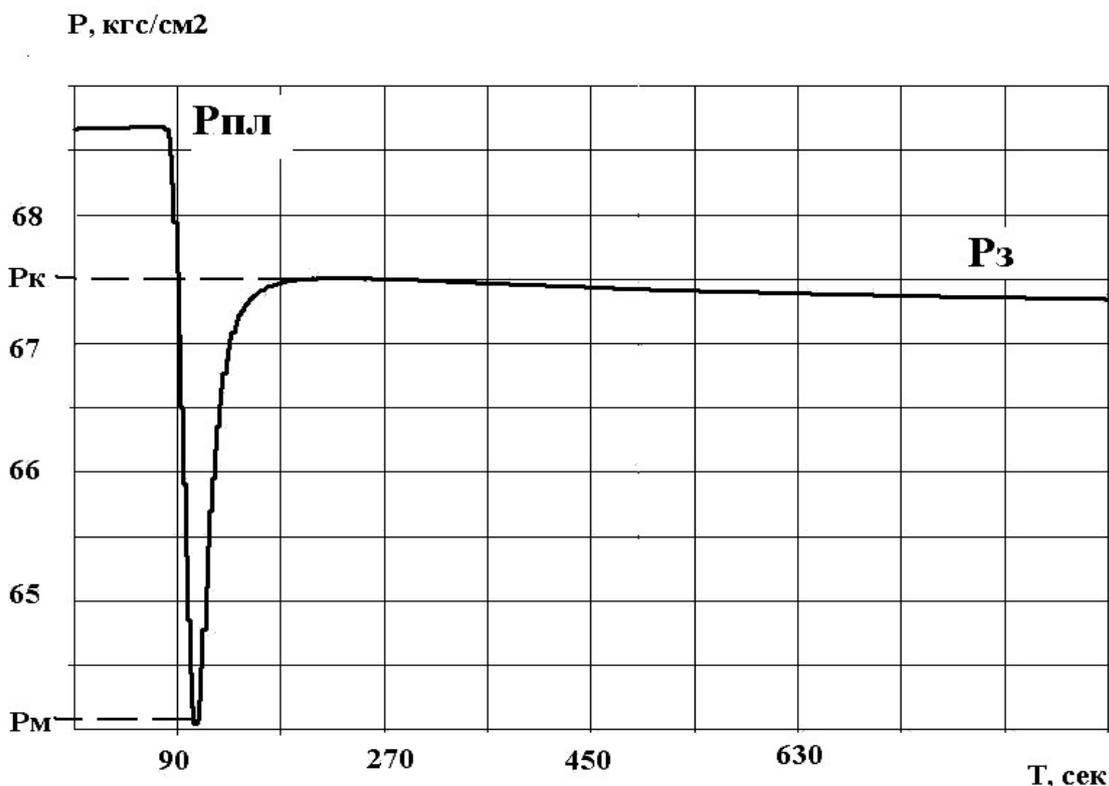


Рис. 2

Существует три возможных причины этого эффекта:

- 1) наличие на забое столба жидкости
- 2) эффект «начального градиента давления» (или предельной депрессии)
- 3) эффект релаксации при формировании притока газа в призабойной системе: пласт - перфорационные каналы – ствол скважины.

Из всех рассмотренных аспектов проблемы наиболее вероятной причиной «пусковых эффектов» является третья – релаксационная. Для её обоснования автором статьи при содействии геологической службы Комсомольского газового промысла был выполнен ряд дополнительных замеров при проведении стандартных газодинамических исследований скважин и систематизирован материал ГДИ за 2000 – 2004 годы с детализацией начального участка КСД. Предположение о возникновении «пускового эффекта» только из-за несовершенства вскрытия продуктивного пласта кумулятивной перфорацией не подтвердилось.

Это позволило сделать предположение о постоянном воздействии единообразного фактора технологического происхождения при проведении ГДИ.

Формирование мощного импульса, который очень быстро доходит до забоя скважины, вызывая возникновение аномальной депрессии («пусковой эффект») происходит из-за сопоставимости объема НКТ и кустовой обвязки скважин.

Продолжительность импульса «пускового эффекта» по времени зависит от заполняемого объема факельной линии и фильтрационных свойств пласта, что

подтверждается замером «пускового эффекта» для одной и той же скважины с различным заполняемым объемом факельной линии, а также для скважин одного куста с различными фильтрационными свойствами при прочих равных условиях.

5. Для получения интерпретируемых результатов КСД необходимо создание условий, исключающих причины возникновения «пускового эффекта». Это выполнимо в двух вариантах:

- сокращение объемов обвязки до минимального размера;
- наличие заполненного объема с давлением, близким к давлению рабочего режима.

В первом варианте необходимо оборудовать конец факельной линии куста газовых скважин электроздвижкой во взрывобезопасном исполнении с дистанционным управлением для соблюдения требований техники безопасности при проведении ГДИ. Второй вариант выполним лишь в одном режиме исследования, когда скважина запускается на рабочий режим в газосборную сеть (шлейф).

Следует внести соответствующие поправки в регламенты по проведению ГДИ и по продувкам скважин с целью очистки призабойной зоны от жидкости, чтобы исключить «пусковые эффекты», которые при кратковременных, но аномально высоких депрессиях могут привести к разрушению скелета пласта и образованию песчаных пробок. Также необходимо в регламентах определить порядок и условия проведения работ для получения качественных данных при проведении газодинамических исследований скважин.

Г.В. Простолупов

НОВЫЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ ИЗУЧЕНИЯ СТРОЕНИЯ СЛОИСТЫХ ТОЛЩ ПО ГРАВИТАЦИОННОМУ ПОЛЮ

1. Метод построения трехмерной квазиплотностной модели среды без структурной составляющей.

Гравитационное поле является суперпозицией аномалий от разных источников. Источниками аномалий являются структурный и плотностной факторы, т.е. аномалии наблюденного на поверхности гравитационного поля создают: как неровности гравиактивных поверхностей при постоянной величине плотности слоев по простиранию, так и латеральные плотностные неоднородности в слоях без учета структуры. В подавляющем большинстве случаев присутствует сочетание структурного и плотностного факторов. В структурном факторе играют роль перепад плотности на гравиактивной границе и степень выраженности морфологических элементов. Причинами плотностного фактора могут быть как первичная седиментационная изменчивость свойств пород, так и вторичные процессы – привнос-вынос вещества и тектоническое разрыхление–уплотнение пород. При выполнении последних исследований возникла необходимость разделить факторы, формирующие гравитационное поле территории. Задача решалась в следующей последовательности.

В первую очередь для разложения гравитационного поля на структурную и плотностную составляющие необходимо знать морфологию основных гравиактивных границ и значение разницы плотностей на них. От структурных поверхностей (отражающих горизонтов), полученных по данным сейсморазведки, посредством решения прямой трехмерной задачи гравиметрии был рассчитан прямой гравитационный эффект. Далее проведено суммирование эффектов всех гравиак-

тивных поверхностей. В результате получили карту суммарного эффекта - смоделированный вклад в наблюдаемое гравитационное поле структурной составляющей (трансформанта 1). Она показывает, какое было бы гравитационное поле от структурных поверхностей при условии постоянной плотности в слоях.

Следующая операция – выделение из наблюдаемого гравитационного поля эффекта от горизонтального слоя изучаемого интервала глубин геологического разреза, соответствующего распространению структурных поверхностей (трансформанта 2) по программе «VECTOR».

Если из гравитационного эффекта изучаемого интервала разреза, полученного по наблюдаемому полю (трансформанта 2), вычесть смоделированный эффект гравитационных поверхностей (трансформанту 1), получим остаточное поле, которое будет содержать только влияние плотности пород в изучаемой толще (трансформанта 3).

Затем, разлагая плотностную составляющую по программе «VECTOR», изучаем распределение в пространстве непосредственно аномальной плотности пород. Преимуществом такой обработки является учет данных, представленных сейсморазведкой, и возможность фактически раздельного изучения гравитационных составляющих поля, связанных со структурным и плотностным факторами.

2. Метод квазиструктурных поверхностей.

Трехмерная трансформанта поля, полученная в системе VECTOR, является диаграммой квазиплотностного распределения среды. Однако нередко аномальное гравитационное поле формируется преимущественно структурным фактором неоднородности геологического пространства при более менее равномерном распределении плотности среды в слоях. В этом случае было бы целесообразно представить трехмерное распределение поля в виде серии поверхностей.

Поверхности разностных трансформант поля, характеризующие эффект слоев, залегающих на разных глубинах и построенные в одном вертикальном масштабе, обладают свойством уменьшения амплитуды поля по мере увеличения эффективных глубин.

Для исключения данного эффекта предложена процедура введения коэффициентов, являющихся функцией удаленности от поверхности измерений (или функцией глубины залегания), в разностные трансформанты поля, рассчитанные в системе VECTOR. При этом происходит учет разноудаленности различных геологических этажей по отношению к формируемому ими измеренному на поверхности Земли гравитационному полю. В конечном счете это дает возможность рассмотреть приближенные к реальности соотношения амплитуд квазиструктур, характеризующих структурные неоднородности среды на разных глубинах.

Другой неизбежный эффект векторной трансформации гравитационного поля – это исключение линейных региональных составляющих поля, которые тем не менее несут информацию о моноклиналином наклоне слоев. Для максимального соответствия гравиметрической модели среды реальному залеганию слоев несложно провести процедуру добавления к каждой трансформанте гравитационного регионального эффекта, рассчитанного по априорным геологическим данным или по данным сейсморазведки.

Для правильного составления квазиструктурных поверхностей необходимо также иметь информацию о знаке (плюс или минус) раздела плотностных границ.

На выходе обработки – трехмерная серия квазиструктурных поверхностей, относящихся к разным глубинам изучаемой толщи пород.

Описанные методы были применены для изучения плотностного и структурного строения осадочного чехла на одной из площадей Нижнего Поволжья.

ВЕЙВЛЕТНЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ И ВОЗМОЖНОСТИ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ ДЛЯ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ ГРАВИРАЗВЕДКИ

Традиционно использующийся при исследовании сигналов и функций спектральный анализ, основанный на преобразовании Фурье, априорно предполагает выполнение условия стационарности или однородности изучаемого сигнала. Большинство реальных геофизических полей не отвечают этому условию, так как их частотное наполнение меняется с изменением координат в пространстве.

Нестационарность во времени и неоднородность распределения в пространстве большинства измеряемых геофизических параметров (будь то данные сейсмических или акустических исследований, гравитационное, магнитное или электрическое поле и т. п.) обуславливают необходимость выбора эффективного аппарата обработки и интерпретации таких сигналов.

Вейвлетный анализ – новый метод обработки и интерпретации данных, получивший в настоящее время бурное развитие как в теоретических, так и в прикладных областях науки. Красота и эффективность математического аппарата вейвлет-преобразования сделали его популярным инструментом анализа произвольных сигналов и функций [1, 2].

Иерархическая структура данных, полученная в результате разложения сигнала сложного вида, заданного в области определения R , в ряд $f(x) = \sum_{i=1}^N c_i \psi_i(x)$

по системе однотипных базисных функций $\{\psi_i(x) : i = 1, 2, \dots, N\}$, позволяет описать этот сигнал в терминах грубого приближения и уточняющих его деталей [3]. Вся система анализирующих функций порождается из одного “материнского вейвлета” путем масштабирования и сдвига его вдоль оси x . Компактность носителя вейвлета позволяет ему адаптироваться к локальным особенностям сигнала.

Отличительной особенностью вейвлет-анализа является широкая возможность выбора базиса анализирующих функций $\psi(x)$ в соответствии с особенностями решаемой задачи, что в значительной степени влияет на эффективность и устойчивость решения.

Данные профильных гравиметрических наблюдений представляют собой дискретно заданную вдоль оси координат гармоническую функцию, осложненную помехами – неоднородный по составу сигнал (рис.1а). Представление информации в виде вейвлет-спектра позволяет локализовать в пространстве особенности поля, обусловленные геологическими объектами разного ранга. На трехмерной вейвлет-спектрограмме (рис. 1б) особенности поля различных масштабов выделяются в зависимости от их расположения в пространстве. На основе взаимосвязи между масштабом вейвлета и глубиной сингулярного источника представляется возможным определять эффективные параметры возмущающих объектов. Локальная оценка энергетических характеристик поля с помощью вейвлетов дает возможность изучения динамики распределения энергии между масштабами в пространстве [4]. Спектры локальной плотности энергии в двух диапазонах масштабов (пространственных частот) для фрагмента поля в выделенном рамкой интервале на рисунке 1а отражают энергетические характеристики соответствующих этим масштабам возмущающих объектов.

Необходимость решения 2D-задач интерпретации приводит к построению двумерных вейвлет-базисов. Обобщенный на двумерный случай вейвлет-анализ

полностью сохраняет все свои преимущества. Пространственное иерархически-структурированное представление данных о гравитационном поле, его спектральных и энергетических характеристиках, сведений о положении аномалиеобразующих объектов может являться источником получения принципиально новой геологической информации.

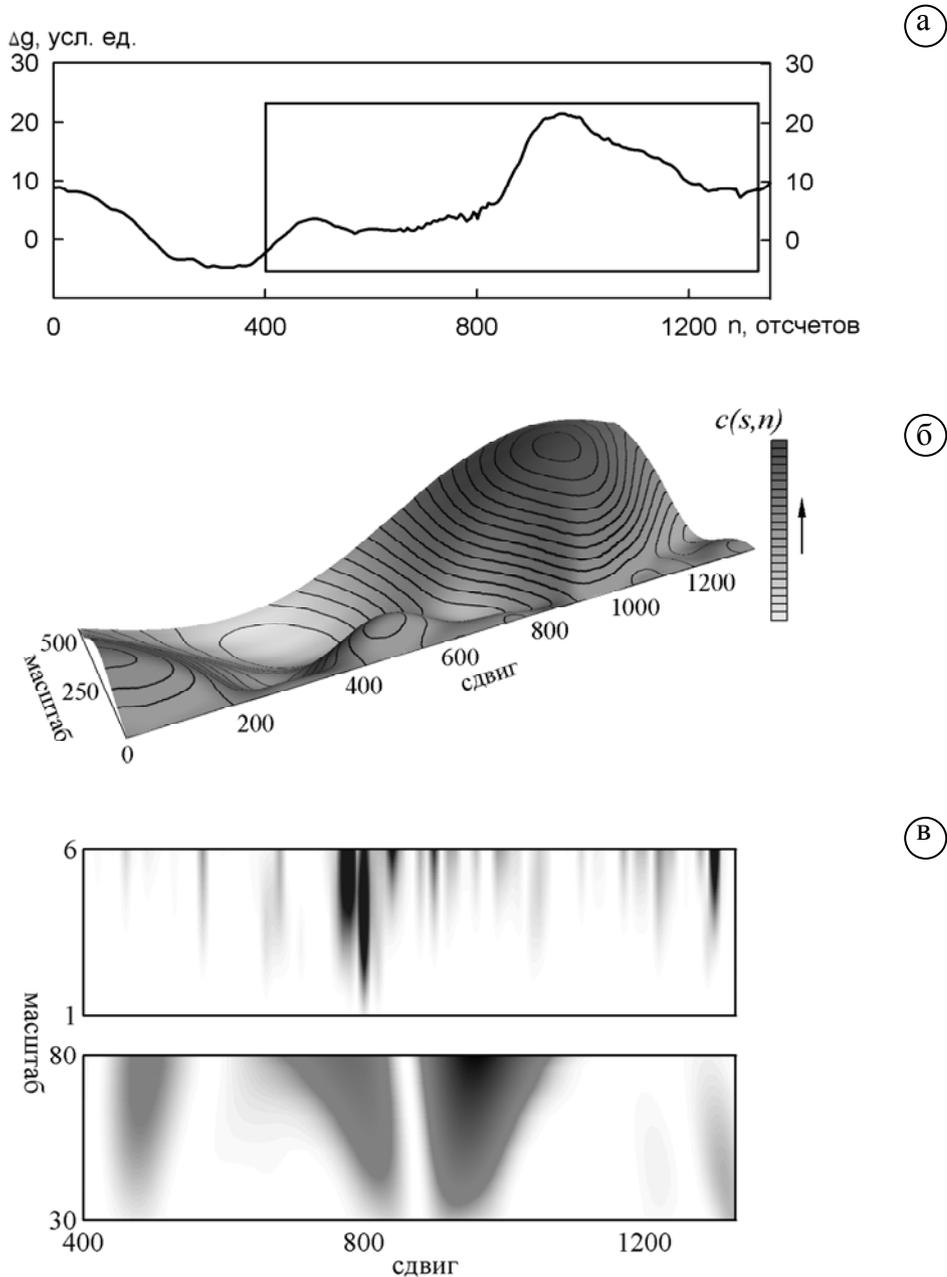


Рис. 1. Вейвлет-анализ реальных гравиметрических данных: а) наблюдаемое гравитационное поле вдоль профиля; б) трехмерная вейвлет-спектрограмма гравитационного поля; в) локальные энергетические спектры для фрагмента поля в выделенном интервале при различных диапазонах масштабов (частот)

Сжатие исходной цифровой модели местности, а также цифровых моделей основных геологических, сейсмо- и гравиактивных границ на основе быстрого вейвлет-преобразования существенно ускоряет решение прямой задачи. Снижение числа итераций при решении обратной задачи достигается путем изменения

необходимой точности аппроксимации в зависимости от параметров модели (глубин залегания, плотности и др.) [5]. Аппроксимация поверхностей двумерными вейвлет-функциями Хаара позволяет создать базисную конструкцию, являющуюся основой построения объемной физико-геологической модели, состоящей из набора прямоугольных призм.

Являясь гибкой системой представления сложных сигналов и функций в виде генерализованных и доступных для изучения образов, математический аппарат вейвлет-анализа обладает рядом достоинств, определяющих его эффективность при решении широкого круга практических и теоретических задач.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Астафьева Н.М. Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения // Успехи физических наук. 1996. Т. 166. № 11. С. 1146-1170.
2. Короновский А.А., Храмов А.Е. Непрерывный вейвлетный анализ и его приложения. М.: ФИИЗМАТЛИТ, 2003. 176 с.
3. Долгаль А.С. Использование быстрого вейвлет-преобразования при решении прямой задачи гравиразведки // Доклады РАН. 2004. Т. 399. № 8. С.1177-1179.
4. Пугин А.В. Применение непрерывного вейвлетного анализа для представления профильных гравиметрических данных в масштабно-пространственной области. // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: Материалы 32-й сес. Международного семинара им. Д.Г.Успенского. Пермь, 2005. С. 238-241.
5. Долгаль А.С., Пугин А.В. Аналитические аппроксимации пространственного распределения геолого-геофизических параметров // Геоинформатика. 2004. № 3. С. 33-40.

В.К. Сидоров

ПЕРСПЕКТИВЫ СЕЙСМИЧЕСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

По аналогии со спектроскопией как разделом физики, посвященным изучению спектров электромагнитного излучения с целью получения информации о строении и свойствах вещества, спектры сейсмических волн могут изучаться с целью получения информации о строении геологической среды. Речь идет прежде всего об амплитудно-частотных спектрах сейсмических шумов. Исследование сейсмических шумов имеет давнюю историю и направлено как на выявление механизмов их образования, так и на использование шумов для изучения структурных характеристик геологической среды, ее напряженного состояния и динамики деформирования [1, 2]. В работе [2], в частности, отмечается, что в сейсмических шумах регистрируется наличие конечного ряда квазигармонических колебаний не техногенного происхождения; далее делается вывод, что задача дальнейших исследований заключается в установлении механизмов формирования структур резонансного типа в земной коре и разработке методов и способов их выделения. В этом контексте здесь рассматривается модель с «эффективными границами» как объясняющая механизм формирования структур резонансного типа. С этих позиций проанализирован конкретный сейсмический материал.

В работе [3] приведено описание одномерной модели гетерогенной среды. Согласно этой модели, неоднородно-слоистый геологический разрез можно трансфор-

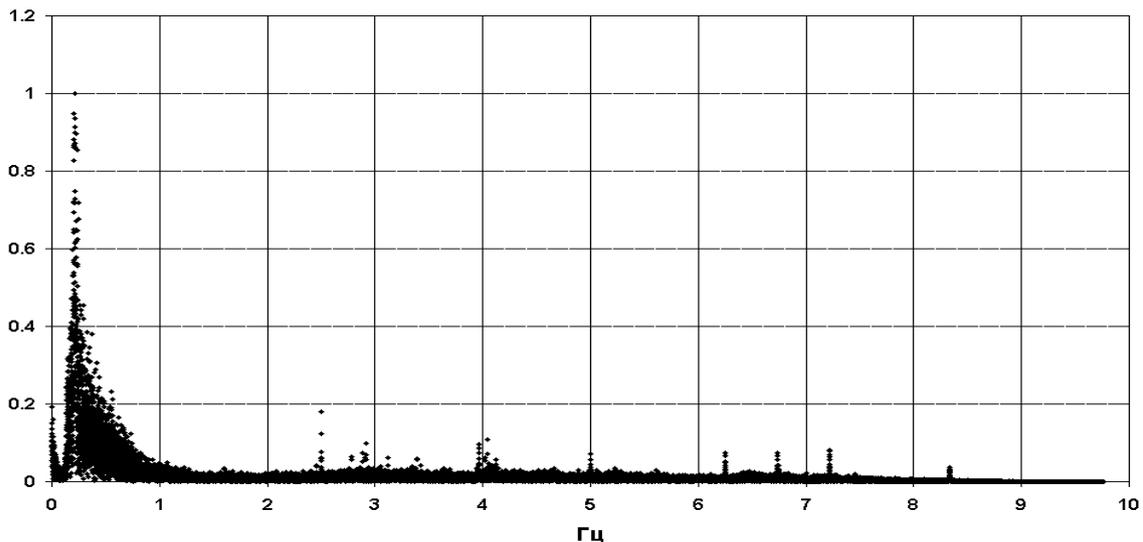
мировать в конечное число сейсмических «эффективных границ», основным свойством которых является обращение в нуль коэффициента отражения на частотах ниже некоторой граничной частоты, индивидуальной для каждой такой границы. В рамках рассматриваемой модели все отраженные сейсмические волны в слоистой геологической среде формируются на этих специфических границах. Среди «эффективных границ» в конкретном геологическом разрезе могут оказаться такие границы, у которых для граничных частот выполняется равенство:

$$f_{гр} = V/2H, \quad (1)$$

где V – средняя скорость в слоистой среде между земной поверхностью и глубиной H «эффективной границы». Равенство имеет место, когда на глубинах «эффективных границ» наблюдается сильная скоростная дифференциация, и это означает, что «эффективная граница» находится на глубине, равной половине длины волны, соответствующей граничной частоте. По-сути, это - условие резонанса для граничной частоты: более низкие частоты не участвуют в реверберации между эффективной границей и земной поверхностью, а более высокие находятся не в резонансе и к тому же сильнее затухают, вследствие чего выделяются частоты, близкие к граничной частоте. Еще одно важное свойство, которое следует непосредственно из соотношения (1), - граничные частоты для продольных и поперечных волн для соответствующих «эффективных границ» соотносятся как скорости: $f_p/f_s = V_p/V_s$. Этот последний признак мы используем в качестве критерия отбора квазигармонических колебаний в амплитудно-частотных спектрах сейсмических шумов.

Анализировались записи сейсмических шумов в одной из шахт на Верхнекамском месторождении калийных солей. Длина одной записи составила 30 мин, шаг записи - 0.050 с. В еще более расширенном временном окне проводилось БПФ, шаг по частоте составил 0.000305 Гц. В результате квазигармонические колебания выделяются на спектрах в виде вертикальных цепочек, состоящих из точек с очень близкими, но все же различными значениями частот, как это следует из прилагаемого рисунка.

Спектр сейсмического шума в соляной шахте



Такая визуализация позволяет сравнивать спектры различных шумовых записей, проведенных в различное время, по совершенно конкретному ряду частот. Были сопоставлены 12 спектров сейсмических шумов, записанных как

утром, так и вечером в течение четырех месяцев с интервалом в месяц. Практически на всех спектрах проявляются квазигармонические колебания с частотами: $f_1=2.50$ Гц, $f_2=2.78$ Гц, $f_3=2.92$ Гц, $f_4=4.05$ Гц, $f_5=4.24-4.87$ Гц, $f_6=5.00$ Гц. Отношения f_4/f_1 , f_5/f_2 , f_6/f_3 имеют значения в пределах 1.6 – 1.7, что соответствует отношению скоростей продольных и поперечных волн. Из рассматриваемых частот мы исключили пару f_2 и f_5 , поскольку частота f_5 не стабильна. В результате остались две пары частот: f_1-f_4 и f_3-f_6 , причем f_1 и f_3 соответствуют поперечным волнам, а f_4 и f_6 – продольным. Частоте $f_6=5.00$ Гц соответствует полупериод $T/2 = 0.125$ с, это время распространения продольной волны от земной поверхности до эффективной границы. Согласно сейсмокаротажным материалам, этому времени соответствует глубина залегания переходной пачки, находящейся между толщей солей и соляно-мергельной толщей. Расчеты «эффективных границ» по материалам акустического и сейсмического каротажа показали, что на этих глубинах проявляется «эффективная граница», близкая по своей частоте к резонансной. В этом случае «эффективная граница», соответствующая частоте $f_4=4.05$ Гц, располагается ниже на 90-100 м, что соответствует соляной толще. Причем эта граница на поперечных волнах проявляется в спектрах наиболее ярко. В то же время, согласно расчетам, никакая «эффективная граница», а тем более резонансная, в этом интервале не проявляется. Но зато на этих глубинах расположено шахтное поле.

Если дальнейшими исследованиями подтвердится обусловленность квазигармонических колебаний характерными для геологического разреза резонансными «эффективными границами», тем более шахтным полем, то сейсмическая спектроскопия может получить развитие, по крайней мере, в двух направлениях. Приуроченность резонансных «эффективных границ» к определенным участкам геологического разреза открывает перспективы для более полного изучения верхней части разреза, поскольку резонансные границы образуются, главным образом, в верхней части разреза из-за ее сильной скоростной дифференциации. Сейсмическая шумометрия здесь может выступить альтернативой инженерной сейсморазведке. Другое направление связано с контролем состояния горного массива. Согласно высказанным здесь представлениям, увеличение сейсмической эмиссии, сопровождающей подвижки в горном массиве, проявляется в виде увеличения амплитуд квазигармонических колебаний. Контроль может быть обеспечен не путем локации и измерения параметров отдельных сейсмических событий, а определением изменчивости амплитуд квазигармонических колебаний, характерных для данного рудника или его участка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кочарян Г.Г., Спивак А.А. Динамика деформирования блочных массивов горных пород. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2003. – 423 с.
2. Спивак А.А., Кишкина С.Б. Исследование микросейсмического фона с целью определения активных тектонических структур и геодинамических характеристик среды // Физика Земли. 2004. № 7. С. 35-49.
3. Сидоров В.К. Одномерная модель гетерогенной среды с эффективными границами // Труды Нижегородской акустической науч. сессии. – ННГУ, 2002. С. 173-176.

СОВРЕМЕННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ТОПОГРАФО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТ ПРИ ВЫСОКОТОЧНОЙ ГРАВИМЕТРИЧЕСКОЙ СЪЕМКЕ

Необходимость повышения точности определения координат и высот гравиметрических пунктов обусловлена современными потребностями в проведении высокоточных гравиметрических съемок в условиях сложного рельефа, а также повышением эффективности гравиметрических исследований с применением новой аппаратуры (гравиметров микрогальной точности типа Scintrex). Поэтому весьма актуальной задачей является повышение точности и производительности топогеодезических работ, которые базируются на новейших достижениях в области геодезии и учитывают возросшие возможности современных технологий геодезического обеспечения.

При производстве геодезических измерений в высокоточной гравиметрической съемке необходимо решать следующие основные задачи:

- вынос в натуру пунктов гравиметрических наблюдений;
- определение координат и высот гравиметрических пунктов, по возможности, в едином технологическом цикле полевых работ;
- закрепление на местности опорных гравиметрических пунктов и базовых станций системы спутниковой навигации.

Каждый из этих видов работ имеет свою специфику и применение того оборудования и методов, которые наиболее целесообразны в данных условиях. В настоящее время широкое распространение получили автоматизированные методы проведения топографо-геодезических работ, основанные на использовании наземного и спутникового электронного геодезического оборудования и программных пакетов обработки полевых измерений. Эти геодезические средства можно условно разделить на следующие группы:

- оптико-электронное оборудование;
- GPS-оборудование;
- программное обеспечение.

На сегодняшний день существует большой парк оптико-электронного оборудования, включая нивелиры, теодолиты, тахеометры.

Цифровые нивелиры - новые геодезические приборы, позволяющие выполнять те же работы, что и обычные оптические нивелиры. Отличительной особенностью является наличие электронного устройства, при помощи которого с высокой точностью снимаются отсчеты по специальной штрих кодовой рейке. Оператору достаточно навести прибор на рейку, сфокусировать изображение и нажать кнопку. Прибор выполнит измерение, отобразит на экране значения отсчета по рейке, а также расстояние до нее.

Электронные цифровые теодолиты характеризуют высокую точность, легкое и быстрое управление, также имеют большой удобный для чтения дисплей, четкий телескоп, большое увеличение, внутреннюю память для хранения информации.

Наиболее эффективно предоставляется использование электронных тахеометров. По сравнению с другими оптико-электронными приборами преимущество заключается в том, что на этом приборе можно производить любые угломерные измерения одновременно с измерением расстояний и по полученным данным проводить необходимые вычисления, сохраняя всю полученную информацию. Электронные тахеометры одинаково удобны для выполнения рутинной съемки и

разбивки пунктов. Эволюция электронного тахеометра продолжается с внедрением сервоприводов, автоматического слежения и безотражательной технологии.

Этот ряд оборудования целесообразно применять в залесенных районах совместно с традиционными методами, такими как теодолитные, высотнотеодолитные и нивелирные хода. Выбор метода высотного обоснования зависит от условий района работ. В районах сильно всхолмленных и горных выгодно применять метод тригонометрического нивелирования посредством электронного тахеометра, а в районах со спокойным рельефом возможно применение как тригонометрического, так и геометрического нивелирования при помощи нивелира.

Наиболее прогрессивной и перспективной в настоящее время, безусловно, является технология спутникового геодезического и навигационного обеспечения гравиметрических работ из-за преимуществ в точности, скорости, универсальности и экономии. Однако применяемые при этом методы существенно отличаются от тех, которые используются при классических геодезических съемках. При соблюдении основных правил GPS съемка оказывается сравнительно простой и обеспечивает хорошие результаты.

На сегодняшний день на рынке GPS-оборудования существует огромное разнообразие вариантов комплектации и методов работы, отличающихся как по цене, так и по точностным характеристикам и выполняемым функциям. Выбор оборудования зависит от цены, функциональных возможностей и от решаемого круга задач. Местоположение пунктов гравиметрических наблюдений определяется с использованием глобальных навигационных спутниковых систем, как из абсолютных, так и из относительных определений.

Наиболее распространенными приборами, которые реализуют абсолютный метод, являются кодовые спутниковые приемники компании Garmin (США) типа GPS II Plus, GPS III Plus, GPS 12 и др, которые, имея сравнительно невысокую стоимость, обеспечивают точность определения плановых координат в абсолютном режиме до 5 метров.

Методы относительных определений основаны на принципе компенсации погрешностей при одновременном определении кодовых и фазовых псевдодальностей до спутников одного и того же созвездия с двух точек. Высокая точность координат, полученных в результате GPS-измерений может достигаться за счет применения дифференциального метода, позволяющего исключать ошибки, обусловленные особенностями распространения радиоволн в ионосфере, тропосфере, неточностью эфемеридной информации.

Дифференциальный метод основан на одновременной работе не менее чем двух приемников, каждый из которых принимает сигналы не менее чем от четырех (общих для обоих) искусственных спутников Земли. Одновременное осуществление приема и регистрации данных, полученных со спутников, совместно с современными методами обработки позволяет выполнить определения относительного местоположения двух и более приемных станций в любых погодных условиях, днем и ночью без взаимной видимости.

Наиболее распространенными геодезическими спутниковыми приемниками, несомненно, являются приемники фирмы Trimble. Современная разработка фазовой GPS аппаратуры компании Trimble - это двухчастотные GPS приемники Trimble Total Station пятого поколения.

В последнее время нашла применение двухчастотная GPS аппаратура фирмы Topcon, которая выделяется двумя уникальными свойствами. Во-первых, она исполнена как совмещенная, т.е. работающая как по сигналам спутников Navstar (GPS), так и по сигналам Glonass. Во-вторых, ее встроенное программное обеспе-

чение содержит модули различного назначения, активизация которых придает аппаратуре дополнительные возможности.

Снижение стоимости спутниковых приемников, повышение точности геодезических определений, достижения в области геоинформационных технологий, реализация бескабельной многоканальной связи, включая пересылку данных с помощью Интернет, и высокотехнологичных интегрированных систем делает применение спутниковых технологий в геофизической отрасли эффективным и экономически привлекательным.

Таким образом, современная технология топографо-геодезического производства при высокоточных гравиметрических съемках вполне обеспечена прогрессивными методами и современным геодезическим обеспечением.

Представленные данные свидетельствуют о весьма широких возможностях геодезического обеспечения при решении геофизических задач различными геофизическими методами.

О.В. Ситчихин

К ВОПРОСУ О НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ВЕРХНЕДЕВОНСКО-ТУРНЕЙСКОГО КАРБОНАТНОГО КОМПЛЕКСА СОЛИКАМСКОЙ ДЕПРЕССИИ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНОГО АНАЛИЗА ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ

В связи с получением новых геолого-геофизических материалов и результатов бурения последних лет возникла необходимость детального изучения основного генерирующего комплекса Волго-Уральской нефтегазоносной провинции, а также строения Камско-Кинельской системы прогибов (ККСП).

В Соликамской депрессии главную роль в поисках и подготовке перспективных ловушек углеводородов, связанных с развитием рифогенных массивов на палеоплато и атоллах, одиночных органогенных построек, а также турнейских клиноформ в бортовых частях прогибов, сыграла сейсморазведка [2]. Сейсморазведка МОГТ в депрессии оказалась единственным надежным геофизическим методом поисков и подготовки нефтеперспективных структур под глубокое поисково-разведочное бурение [1].

Самым большим достижением сейсморазведки МОГТ и глубокого бурения является установление развития позднедевонских прогибов Камско-Кинельской системы на территории Соликамской депрессии и прилегающих к ней районов. Особенно четко ККСП проявляется по кровле фаменского яруса. Эта область развивалась в пределах крупнейшего Предуральского позднедевонского опускания, и к его концу в условиях глубоководного шельфа сформировались два вида палеоструктурных элементов – некомпенсированные прогибы и группы органогенных построек (полосы барьерных рифов, палеоплато, атоллы) [2]. Характерной чертой Соликамской депрессии является ее совпадение с распространением ККСП.

Гравиразведка также является весьма эффективным методом исследования региональных особенностей строения ККСП [5], предопределившим зональное размещение локальных гравитационных полей по площади [3]. Цепочки полей размещаются вдоль валов, расположенных по бортам системы и в направлениях, секущих основные прогибы. Приуроченные к рифогенным массивам, валам во внутренней зоне ККСП гравитационные аномальные поля различаются по ампли-

туда и фоновому полю, на котором они выделяются. На рифогенных массивах крупные карбонатные ядра верхнего девона в сочетании с вышележащими гравитационными границами создают гравитационный эффект до 1,5 мГал (Березниковское палеоплато). В ККСП наблюдаются смешанные аномалии как за счет структур, прослеживающихся по всем маркирующим горизонтам, так и созданные структурами с рифогенными верхнедевонско-нижнекаменноугольными ядрами. Поэтому внутренняя часть зоны ККСП характеризуется, как правило, малоамплитудными аномальными полями.

На основе комплексного анализа данных сейсморазведки, глубокого бурения и геохимии органического вещества получены новые представления о процессах генерации и аккумуляции углеводородов в верхнедевонско-турнейском карбонатном комплексе Соликамской депрессии как основных составляющих нефтегазоносности. При этом была показана целесообразность проведения анализа генерационно-аккумуляционных процессов отдельно по различным тектоно-седиментационным элементам верхнедевонско-турнейского комплекса депрессии: Березниковскому палеоплато (органогенные постройки и разделяющие их склоновые и межрифовые зоны), Гежскому палеоплато (органогенные постройки), Чердынскому атоллу (бортовая зона) и собственно прибортовым зонам [4].

Наиболее интенсивные процессы генерации углеводородов выявлены на Березниковском палеоплато в органогенных постройках (саргаевские и мендымские отложения) и в склоновых и межрифовых зонах (доманиковые, мендымские, верхнефранские и фаменские отложения), в прибортовых зонах (доманиковые, мендымские, верхнефранские и фаменские отложения). Менее интенсивные генерационные процессы характерны для органогенных построек (фаменские и турнейские отложения) и для склоновых и межрифовых зон (турнейские отложения) Березниковского палеоплато, изученных саргаевских и фаменских отложений Чердынского атоллу, а также для турнейских отложений прибортовых зон.

Явно выраженные аккумуляционные процессы установлены во всех изученных горизонтах (ярусах) Гежского палеоплато, а также в доманиковых и верхнефранских отложениях органогенных построек Березниковского палеоплато и в саргаевских отложениях прибортовых зон.

Итак, можно отметить, что в средне-верхнефранских отложениях преобладают генерационные процессы, а в фаменских и турнейских – процессы миграции и аккумуляции углеводородов.

Таким образом, верхнедевонско-турнейский карбонатный комплекс депрессии представляет собой мощную генерационно-миграционно-аккумуляционную зону, что связывается с формированием органогенных построек во внутренних зонах ККСП. В этом заключается существенное отличие от платформенных частей ККСП, где главным образом внутренние зоны являются зонами генерации углеводородов, а бортовые – зонами аккумуляции.

И, наконец, степень катагенетических преобразований органического вещества верхнедевонско-турнейских отложений Соликамской депрессии находится в диапазоне МК₁-МК₃, т.е. вся территория расположена в главной зоне нефтеобразования.

В заключение необходимо отметить, что приоритетной задачей, стоящей в настоящее время перед сейсморазведкой, является изучение прогибов Камско-Кинельской системы, которые остаются слабоизученными [1]. В их бортовых частях возможно обнаружение одиночных рифогенных массивов и клиноформ, как например, в Кизеловском и Челвинском прогибах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Особенности геологического строения Предуральского краевого прогиба / В.М. Неганов, Б.А. Заварзин, М.С. Зотеев и др. // Геофизика-2000. Спец. выпуск к 50-летию «Пермнефтегеофизики». Пермь, 2000. С. 29-33.
2. Неганов В.М., Морошкин А.Н., Шихов С.А. Строение Камско-Кинельской системы прогибов по результатам геофизики и бурения // Геофизика-2000. Спец. выпуск к 50-летию «Пермнефтегеофизики». Пермь, 2000. С. 34-38.
3. Новоселицкий В.М., Бычков С.Г. Эволюция гравиразведки в Пермском Прикамье // Геофизика-2000. Спец. выпуск к 50-летию «Пермнефтегеофизики». Пермь, 2000. С. 115-120.
4. Ситчихин О.В. Закономерности процессов нефтегазообразования и нефтегазо-накопления в верхнедевонско-турнейском карбонатном комплексе Соликамской депрессии // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Науч. чтения памяти П.Н. Чирвинского: Сб. науч. статей. Перм. ун-т. Пермь, 2005. С. 218-226.
5. Шихов С.А. Исследование Камско-Кинельской системы прогибов геофизическими методами в северной части Волго-Уральского бассейна в связи с поисками нефтегазоносных структур: Автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук. Пермь, 1974. 43 с.

М.В. Тарантин

ОТРАЖЕНИЕ СТРУКТУРЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО РАЗРЕЗА В СПЕКТРАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРАХ ГОЛОВНЫХ ВОЛН

Уже отмечалось, что истинное значение Kf_0 параметра затухания сигнала, имеющего большое практическое значение, очень часто замаскировано. Для получения значений, сравнимых с результатами лабораторных измерений и пригодных для интерпретации, эти помехи необходимо удалить или минимизировать их влияние. Данная работа предлагает один из возможных подходов к устранению влияния такого фактора, как слоистость околоскважинного пространства. Ранее отмечалось [1], что слоистость разреза вносит значительный вклад в искажение динамических параметров регистрируемого в каротаже волнового сигнала. Кроме слоистости, похожий эффект производит определенное множество нарушений среды в околоскважинном пространстве: каверны, брекчии, трещины. Такие нарушения также представляют интерес для интерпретатора, и поэтому их обнаружение представляется целесообразным.

Наиболее часто искажения вычисляемого затухания происходят при изменении частотного спектра сигнала, причем такие изменения соответствуют по глубине как раз локальным минимумам пиковых частот. Эти изменения выражаются в увеличении удельных амплитуд высокочастотных гармоник, приводящем к "двугорбости" амплитудно-частотных спектров (рис. 1). Такие спектры имеют пониженную пиковую частоту (при сильном искажении – повышенную), что напрямую определяет зависимость затухания сигнала от частоты. Характерный вид частотных спектров сигналов позволяет предположить, что искажения параметра затухания связаны с интерференцией сигналов.

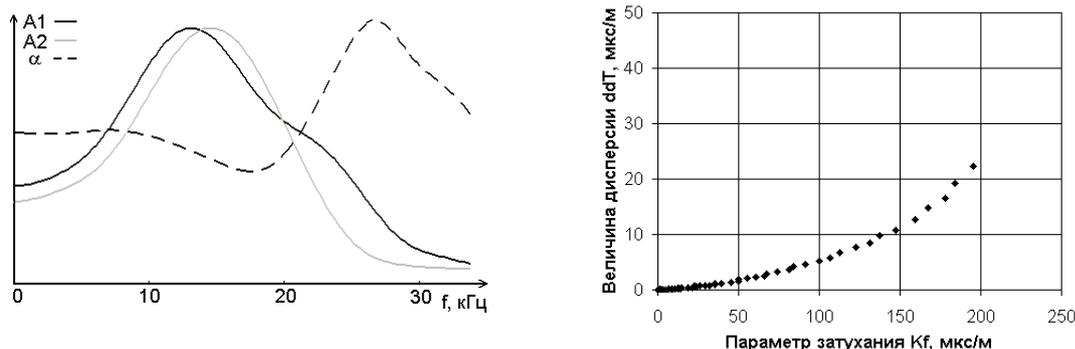


Рис. 1. Осложненные амплитудно-частотные спектры сигналов и соотношение дисперсии и затухания для модельного сигнала

Так как в каротаже используется разностная схема измерений, то в зависимости от того, каким приемником регистрируется искаженный сигнал, частотная зависимость затухания $\alpha(f)$ носит характер возрастающей или убывающей функции. Представленной на рис. 1 частотной зависимости $\alpha(f)$ соответствует отрицательный параметр затухания Kf .

Из-за разностной схемы измерений неоднородности, масштабы которых меньше базы измерения акустического прибора, проявляются в каротажных кривых затухания волн особенностями характерной формы ("Z-образные аномалии" по терминологии [2]).

В ходе исследования была получена устойчивая связь между наблюдаемой дисперсией сигнала и параметром его затухания [3]. Наблюдаемое соотношение может быть получено при моделировании слабой интерференции сигналов. Кроме этого, интерференцией сигналов качественно и количественно описываются наблюдаемые на материалах особенности амплитудно-частотных спектров. Все это говорит о схожести механизмов трансформации волн при моделировании и в действительности.

Таким образом, можно утверждать, что аномально большие и отрицательные значения вычисляемого параметра затухания обусловлены разностной схемой измерения и интерференцией сигналов при приеме. Часто эти особенности соответствуют неоднородностям околоскважинного пространства, однако необходимо отделить их от скоростных неоднородностей и найти (или оценить) собственно Kf_0 .

Учитывая аддитивность затухания, для получения физически значимого параметра затухания следует из вычисленного затухания вычесть "слоистую" часть $Kf_{\text{слой}} = K_{\text{прон}} \cdot ddT$, где $ddT = dV_{\text{сп}}^{-1} - dV_{\text{ф}}^{-1}$ – характеристика наблюдаемой дисперсии. Коэффициент пропорциональности $K_{\text{прон}}$ определяется из общего соотношения параметра затухания и дисперсии. Несомненно, в общем затухании присутствует часть, не связанная с дисперсией, однако, как показывает практика, эта часть имеет меньший порядок, нежели "слоистая".

Для большей достоверности результата вычисление $K_{\text{прон}}$ можно проводить для наибольших значений вычисляемых параметра затухания и дисперсии, так как в этих интервалах доля остальных составляющих, а следовательно, и ошибка, будет наименьшей. Следует отметить, что значение коэффициента пропорциональности должно быть постоянно для всего анализируемого интервала (обычно для всего вскрытого интервала), так как на этом участке каротаж проводится одним прибором, диаметр скважины постоянен.

Результирующая кривая будет иметь как положительные, так и отрицательные значения, которые являются суммой физического затухания и эффективного затухания вследствие рассеяния волнового сигнала. Физическое затухание имеет положительные

значения, поэтому отрицательные обусловлены влиянием такого рассеяния, которое не привносит в сигнал дисперсию и потому не объясняется никакой слоистостью среды.

При интерпретации новой кривой следует помнить о локальном характере рассеяния и разностной схеме измерений, при которой положительное затухание может отражаться и отрицательным параметром затухания K_f . Однако, если результирующие значения большей частью отрицательны, вероятно, имеет место рассеяние; причем оно не связано со слоистостью, а связано с какими-либо неоднородностями среды. Локальность рассеяния требует дополнительной обработки результатов для сравнения их с данными других методов: необходима некоторая интеграция этих локальных значений на длине базы измерения прибора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тарантин М.В. Оценка структуры карбонатных коллекторов по данным акустического каротажа // Стратегия и процессы освоения георесурсов. Пермь: Горный институт УрО РАН, 2004.
2. Сидоров В.К., Тарантин М.В. Способ определения частотнозависимого коэффициента затухания по материалам волнового акустического каротажа // Сборник трудов XIII сессии Российского Акустического общества. 2 т. Акустические измерения. Аэроакустика. Геоакустика. Ультразвук и ультразвуковые технологии. Электроакустика. М.: ГЕОС, 2003. С.75-79.
3. Тарантин М.В. Наблюдаемая дисперсия головных волн в акустическом каротаже // Сборник тезисов Второй Сибирской научной конференции молодых ученых по наукам о Земле. Новосибирск: ОИГГМ, 2004.

М.С. Чадаев

РЕШЕНИЕ НЕКОТОРЫХ ЗАДАЧ СКВАЖИННОЙ ГРАВИРАЗВЕДКИ В КОМПЛЕКСЕ С СЕЙСМИЧЕСКИМИ ДАННЫМИ

Основной задачей исследований скважинной гравirazведки принято считать определение плотности горных пород. По сравнению с другими видами каротажа измерения с гравиметром проводятся и в обсаженной скважине, что позволяет изучать разрез, начиная с поверхности, и что имеет большое значение для изучения верхней части геологического разреза (ВЧР). Вместе с тем, по сравнению с наземной съемкой, область измерений существенно ограничена. Поэтому обработку и интерпретацию данных скважинной гравirazведки требуется дополнять данными других методов, в том числе сейсморазведки [2, 3].

1. Гравиметрический каротаж теоретически основывается на уравнении Пуассона:

$$\nabla_{zz}^2 + \nabla_{xx}^2 + \nabla_{yy}^2 = -4\pi f \rho(x, y, z), \quad (1)$$

где ∇_{zz}^2 , ∇_{xx}^2 , ∇_{yy}^2 – вторые производные гравитационного потенциала во внутренних точках среды; $\rho(x, y, z)$ – плотность пород в точке с координатами x, y, z внутри масс; f – гравитационная постоянная.

Исходя из этого, для дискретного («точечного») нахождения плотности необходимо в соответствии с формулой (1) в скважине измерить три производные. Однако приборы для полевых измерений необходимых производных отсутствуют.

Поэтому для интерпретации данных гравиметрического каротажа физико-геологическая модель среды принимается в виде совокупности горизонтальных плоскопараллельных однородных по плотности слоев бесконечного простираения (так называемых простых слоев). Это допущение позволяет в формуле (1) значе-

ния V_{xx} и V_{yy} принять равными нулю, а величину V_{zz} вычислять по разностям измерений силы тяжести на двух уровнях.

Вертикальная производная потенциала притяжения слоя бесконечного простираения, плотность которого изменяется с глубиной, может быть вычислена по формуле

$$V_z(0, z) = \int_{z_1}^{z_2} 2\pi f\rho(\zeta)d\zeta, \quad (2)$$

где z_1 и z_2 – глубины до кровли и подошвы слоя. При $\rho(\zeta) = \text{const.}$ приращение ΔV_z вертикальной производной от подошвы до кровли слоя равно

$$\Delta V_z = -4\pi f\rho h, \quad (3)$$

где $h = z_2 - z_1$ – толщина слоя.

С учетом измеренного приращения силы тяжести δg и нормального вертикального градиента $\partial\gamma/\partial h$ формула (3) применяется на практике для определения плотности пород. Имеем:

$$\rho = (\delta g - \partial\gamma/\partial h) / 4\pi f h. \quad (4)$$

В результате определяемые плотности являются поинтервально осредненными и обычно называются кажущимися. Ввиду того, что залегание слоев (пластов) может отличаться от горизонтального (наклон, выклинивание), требуется вводить соответствующие поправки.

2. Определение пористости около скважинного пространства.

Постановка данной задачи обусловлена заниженными величинами пористости, получаемыми с использованием данных плотностного гамма-гамма каротажа и акустического каротажа. Задача актуальна для неоднородно распределенной пористости пород, находящихся на удалении от скважины, а также для изучения трещиноватых (трещинных коллекторов) и кавернозных карбонатных пород. При расчете необходимо, кроме определения плотности, знать плотности скелета породы и заполняющего флюида. Для детализации строения исследуемого объекта (месторождения) привлекаются данные сейсмических исследований.

Выделенные интервалы пород (пластов) целесообразно затем подробно изучать гравиметрическим каротажем на малых интервалах. Существующие приборы такую детализацию обеспечивают.

3. Построение боковой границы (склона соляного купола).

В районах развития соляно-купольной тектоники большое значение имеет задача картирования склона купола, так как примыкающие к нему породы вблизи контакта могут содержать залежи нефти. В том случае, когда скважина пробурена в непосредственной близости к куполу, конфигурация границы раздела может быть изучена на основании скважинных гравиметрических измерений. Нахождение расстояний между скважиной и боковой границей является задачей построения контактной поверхности. Проведение расчетов возможно по формулам для двумерных распределений.

С учетом [1] вертикальная производная потенциала притяжения вычисляется по формуле

$$V_z(x, z) = 2f \int_s \frac{\rho(\zeta, \chi)(\zeta - z)d\zeta d\chi}{(\zeta - z)^2 + (\chi - x)^2}, \quad (5)$$

где s – область интегрирования. Эта область, как упоминалось выше, существенно ограничена: по вертикали пределы находятся в интервале от 0 до z . На практике решение интегрального уравнения (5) возможно на основе линеаризации приближенной заменой ядра уравнения ядром Пуассона, а также методом последовательных приближений.

Для выполнения вычислений необходимо знать распределение аномальной плотности на границе сред. Полагая, что плотность изменяется только с глубиной и выполняя интегрирование по $d\zeta$, будем иметь [4]

$$V_z(0, z) = 2f \int_0^z \rho(\zeta) \left(\operatorname{arctg} \frac{x_1 - x}{\zeta - z} - \operatorname{arctg} \frac{x_2 - x}{\zeta - z} \right) d\zeta, \quad (6)$$

где x_1 x_2 - расстояния до самой ближней и самой удаленной точки границы.

Спектр решаемых задач в нефтяной геологии достаточно широк. Кроме выше перечисленных задач, применение скважинной гравиразведки также целесообразно при изучении органогенных объектов, при повторном исследовании законсервированных нефтяных скважин, при мониторинге во время разработки нефтяных и газовых месторождений, при поисках неструктурных залежей, для глубинной привязки наземных гравитационных аномалий и др. Отдельная область – задачи инженерной геологии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новоселицкий В.М. К теории определения изменения плотности в горизонтальном пласте по аномалиям силы тяжести / Известия АН СССР. Серия Физика Земли. 1965. № 5. С. 25-32.
2. Новоселицкий В.М. О месте геопотенциальных методов в геофизическом комплексе // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей. Материалы 32-й сессии Международного семинара им. Д.Г.Успенского. Пермь: Горный институт УрО РАН, 2005. С. 206-208.
3. Новоселицкий В.М., Чадаев М.С. Применение скважинной гравиразведки в нефтяной геологии. – М., 1981. – 51 с. (Региональная, разведочная и промысловая геофизика: Обзор / ВИЭМС. Библиография: с. 44-50 (98 названий).
4. Чадаев М.С. Повышение эффективности гравиразведки путем расширения ее технологических модификаций: Дис. ... д-ра техн. наук. – Пермь: ПГУ, 1994. – 233 с. Библиография: с. 196-233. (346 назв.).

Г.П. Щербинина

НОВЫЙ ВЗГЛЯД НА ФОРМИРОВАНИЕ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЮРЮЗАНО-СЫЛВЕНСКОЙ ДЕПРЕССИИ

Юрюзано-Сылвенская депрессия Предуральяского прогиба в нефтегазоносном отношении к настоящему времени осталась слабо изученной. Это обусловлено нетипичным сложным характером распределения углеводородов на этой территории по сравнению с прилегающими районами.

Территория Юрюзано-Сылвенской депрессии имеет существенно иную историю развития и, соответственно, иное строение. Это требует другого подхода к поискам углеводородных залежей.

Отличием от Соликамской депрессии является резко дифференцированное залегание поверхности блоков фундамента от глубины 3 км на западе до 8 км на востоке. Величина уступов на границе блоков достигает 1.8 км. В соответствии с этим мощность рифейских и вендских отложений изменяется от 0.4 км на Кунгурском палеосводе до 4.5 км в восточной части. Исследованиями по Пермской области доказано нефтематеринское значение протерозойских толщ.

Франско-турнейская толща на территории Соликамской депрессии формировалась в условиях значительного погружения территории. За счет этого там образовались высокоамплитудные рифогенные массивы, благодаря которым были сформированы ловушки УВ, и окружающие их депрессии с нефтематеринскими породами. В связи с этим нефтепоисковый процесс в Соликамской депрессии

направлен в основном на выявление франско-турнейских массивов. Территория же Юрюзано-Сылвенской впадины во франско-турнейское время являлась сводом, унаследованным со среднего девона. Поэтому здесь отсутствовали условия для формирования крупных органогенных построек и франско-турнейская толща представлена монотонной толщей слоистых не глинистых карбонатов уменьшенной мощности с низким нефтематеринским потенциалом.

Небольшая дифференциация по площади тектонических вертикальных движений в течение палеозоя и последующего времени, а также значительный общий наклон толщ на восток обусловили слабое развитие и тектонических ловушек на данной территории. Сейсморазведкой выявляются в палеозойских отложениях только малоамплитудные локальные поднятия.

Общее, увеличивающееся на восток, погружение территории в конце карбона - ранней перми в связи с формированием предгорного прогиба стимулировало образование на этой территории рифовых массивов пермского возраста. Эти рифы являются здесь перспективными ловушками. В некоторых из них выявлены залежи УВ. Они являются, таким образом, одним из типов поисковых объектов на этой территории.

Особенностью, отличающей Юрюзано-Сылвенскую депрессию от платформенных территорий и Соликамской впадины, являются и повышенные катагенетические изменения пород под влиянием высоких температур. По данным исследований витринита, породы карбона и перми прогревались до 150 - 200°C. Это связано с позднепалеозойской активизацией магматических процессов в прилегающих районах Урала и на данной территории. Высокий уровень палеотемператур указывает на благоприятные условия формирования на этой территории залежей газообразных УВ. И на самом деле, здесь выявлено несколько газовых месторождений.

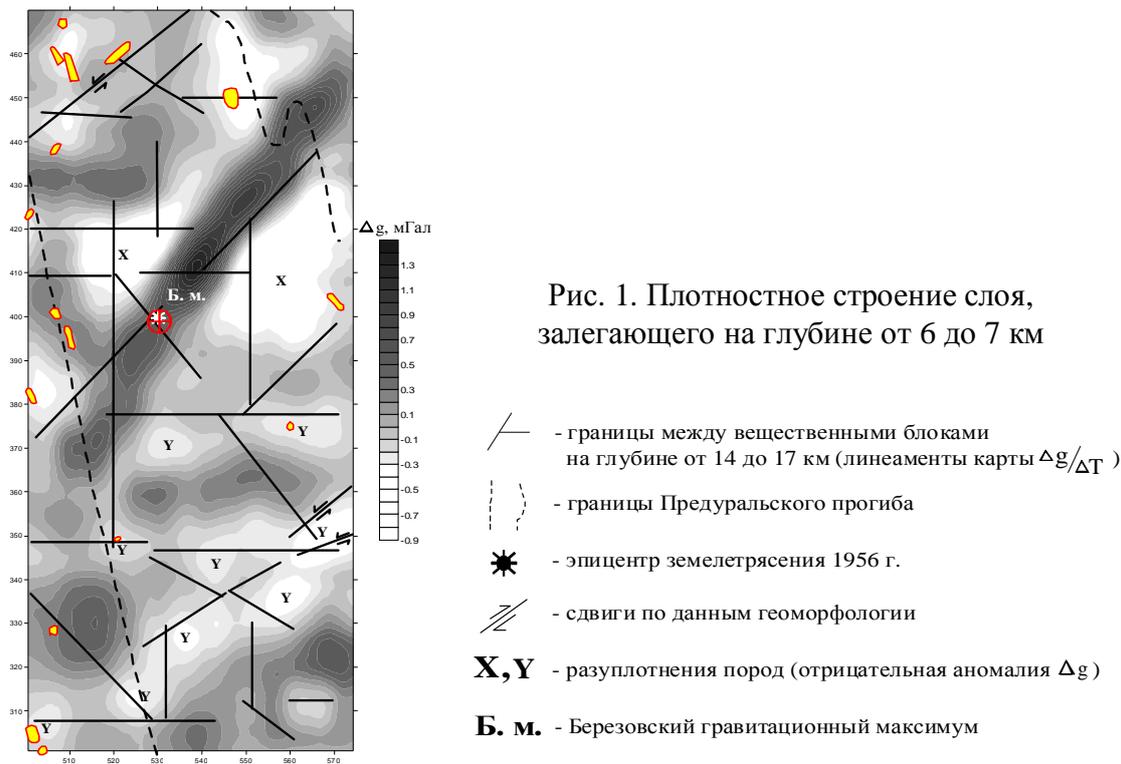
С другой стороны, прогревание пород привело к термическому закаливанию пород, что изменило их физические свойства. Породы характеризуются повышенной скоростью распространения упругих колебаний, повышенной плотностью и трещиноватостью.

В связи с такими особенностями развития и строения территории предлагается другой взгляд на формирование картины нефтегазоносности в Юрюзано-Сылвенской депрессии.

Территория Юрюзано-Сылвенской депрессии характеризуется повышенным уровнем геодинамической напряженности в связи с близостью активной Уральской зоны, воздействующей на окраину платформы. В настоящее время она проявляется в виде землетрясений, зафиксированных на границах депрессии, геоморфологическими исследованиями выявлены сдвиги диагонального простирания. Все это говорит о том, что земная кора здесь находится в напряженно-деформированном состоянии, соответствующем внешним уральским силам. Это, несомненно, повлияло на картину распределения физических свойств пород. В соответствии с напряженно-деформированным состоянием развивались области уплотнения или разрыхления пород, трещиноватость, различные, связанные с этим, физико-химические преобразования.

О высокой неоднородности плотностных свойств по горизонтали свидетельствуют трансформанты гравитационного поля, полученные по программе «Вектор», которые отражают плотностное строение горизонтальных слоев. В плотностных картинах горизонтальных слоев видна мозаика положительных и отрицательных аномалий с диагональными и ортогональными границами между ними. Аномалии организованы в некую структуру. Возможно, диагональные линейные

ты отражают сколовые деформации за счет касательных напряжений, развивавшихся от уральских сил. Подвижки по ним могли приводить к короблению слоев и формированию локальных тектонических поднятий небольшой амплитуды.



Закономерности распространения ловушек этого типа не установлены. Но благодаря анализу гравитационного и магнитного полей можно сделать прогноз их развития. Локальные структуры коробления должны формироваться в наиболее подвижных мобильных зонах, которые приурочены, скорее всего, к границам между блоками фундамента. Поэтому проведены работы по выяснению его строения.

Для этого, применяя программу векторного сканирования "Вектор", из гравитационного и магнитного полей вычленили эффекты от горизонтального слоя, залегающего в толще фундамента на глубине 14 –17 км. Оказалось, что фундамент на этой глубине состоит из блоков пород с разными физическими свойствами. Форма блоков удлиненная, их ширина около 30 км.

Для пород разного вещественного состава соотношение магнитной и гравитационной характеристик разное. Поэтому параметр $\Delta g/\Delta T$ для данного слоя, можно считать, показывает вещественные блоки. Этот параметр более точно дает положение границ между блоками, которые выделяются градиентными зонами. При сравнении картины линеаментов, проведенных по градиентным зонам, с геологическими материалами наблюдается отражение их в различных элементах строения территории: в морфологии поверхности фундамента, в форме других стратиграфических поверхностей, в картах мощностей толщ и даже в современном рельефе. Это показывает, что на данной территории блочное строение фундамента определяло в палеовремена и определяет в настоящее время тектонический каркас территории. Проявление границ между блоками фундамента в элементах строения позволяет считать их активными и предполагать, что в осадочном чехле надразломные участки являются наиболее тектонически подвижными, наиболее деформированными, с повышенной трещиноватостью, со сложным строением осадочных толщ.

На плотностной картине слоя, залегающего выше - на глубине от 6 км до 7 км (рис. 1), вдоль контактов (разломов) блоков наблюдаются разуплотнения пород У. Ширина зон 15 – 20 км. Большинство выявленных на изучаемой территории месторождений УВ приурочено к этим отрицательным аномалиям.

Участки отрицательных аномалий, видимо, можно считать наиболее перспективными как на выявление тектонических ловушек, так и самих залежей. Так как разностная карта гравитационного поля отражает здесь, в какой-то мере, и геодинамическое поле, и УВ отеснены в разгруженные области. Поэтому поисковые работы для выявления тектонических поднятий платформенного типа на данной территории в первую очередь нужно проводить в этих разуплотненных зонах. С точки зрения органического происхождения нефти, наиболее перспективными будут восточные районы депрессии, где наблюдается большая мощность рифейских и вендских осадочных пород, обладающих нефтематеринским потенциалом. С точки зрения глубинного происхождения нефти, разуплотненные (значит и более проницаемые), мобильные участки, залегающие над границами блоков фундамента, также являются наиболее перспективными на выявление залежей УВ.

С.И. Яковлев

РЕЗУЛЬТАТЫ ПОВТОРНЫХ МИКРОГРАВИМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ ПРИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ В ГОРОДСКИХ УСЛОВИЯХ

В период с 1998 г. по 2004 г. на участке размером 210 м x 130 м в г. Перми были выполнены две серии микрогравиметрических наблюдений с целью выявления и локализации плотностных неоднородностей, которые представляют потенциальную опасность при строительстве гражданского сооружения.

Съемка выполнялась по сети 10м x 25 м (пять профилей, шаг 10 м) по методике однократных наблюдений. В первой серии наблюдений при использовании гравиметров ГНУ-КВ среднеквадратическая погрешность выявления аномалии силы тяжести составила $\varepsilon_a = \pm 35 \text{ мкГал}$. Повторные гравиметрические наблюдения по той же системе профилей с использованием современной гравиметрической (гравиметр CG-3М) и топографической (электронный тахеометр Nikon DTM-352W) аппаратуры позволили выявить аномалию силы тяжести со среднеквадратической погрешностью $\varepsilon_a = \pm 9 \text{ мкГал}$.

В результате обработки материалов первой серии микрогравиметрической съемки в системе VECTOR [1] глубине до 20 метров была выявлена область разуплотнения в виде полосы шириной 50 м (рис. 1а). На основе совместного анализа данных инженерно-геологических изысканий и результатов векторной обработки было установлено совпадение в плане и по глубине отрицательной гравиметрической аномалии с участком заторфованных грунтов [2].

Результаты векторной обработки повторных гравиметрических наблюдений подтвердили наличие зоны пониженных значений силы тяжести на этом участке, где наблюдалось интенсивное оседание жилого дома (рис. 1б).

Изменение интенсивности отрицательной аномалии, выявленные при повторной съемке (уменьшение аномальных значений с 60мкГал до 35 мкГал), а также смещение центра аномальной зоны, возможно, связано с завершением про-

песса уплотнения грунтов, происходившего при строительстве высотного здания на границе заторфованной зоны.

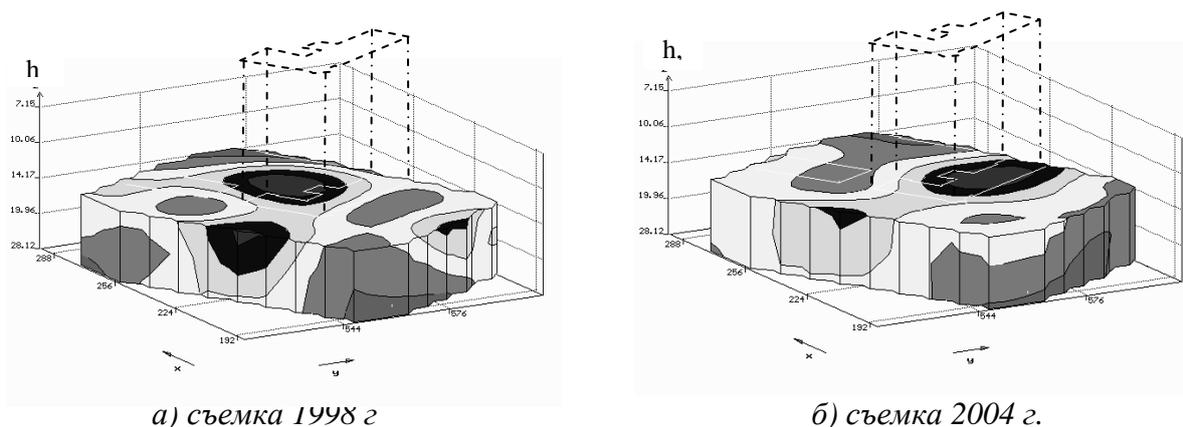


Рис.1. Вертикальные срезы 3D-диаграммы квазиплотности

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новоселицкий В.М., Простолупов Г.В. Векторная обработка гравиметрических наблюдений с целью обнаружения и локализации источников аномалий / Геофизика и математика: Материалы 1-й Всероссийской конф. М., 1999. С. 104 – 107.
2. Исследование причин обрушения жилого дома №28 на улице Советской в г. Перми / Новоселицкий В.М., Щербинина Г.П. Погадае С.В., Простолупов Г.В. // Экология города: Материалы региональной науч.-технической конф. Пермский Ун-т, 1998. С. 131 – 132.

В.П. Колесников

О РЕЗУЛЬТАТАХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО СОЗДАНИЮ МЕТОДИЧЕСКОГО И ИНТЕРПРЕТАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

Данное сообщение отображает результаты исследований лаборатории наземной и подземной электрострометрии Горного института УрО РАН, выполненных в течение 2004 года.

Исследования включали развитие и совершенствование системы обработки и интерпретации результатов наземных и шахтных методов наблюдений, разработки способов расчета электромагнитных полей для сложнопостроенных моделей сред, проведение экспериментальных работ по изучению естественных электромагнитных полей в зонах активной тектоники с целью поиска критериев прогноза землетрясений, численное моделирование электромагнитных полей для слоистой модели среды применительно к техногенным источникам электромагнитного поля, экспериментальное опробование научных разработок при решении производственных задач.

В области развития методов компьютерной интерпретации основные усилия были направлены на дальнейшее совершенствование технологии и повышения эффективности количественной интерпретации площадных съемок электрического зондирования, реализация которой, как известно, относится к одному из наиболее сложных и проблемных

этапов истолкования электроразведочных материалов, так как затрагивает решение ряда принципиальных вопросов, ключевым из которых является обеспечение необходимой устойчивости и достоверности решений.

Несмотря на наличие ряда фундаментальных работ в области решения некорректных задач, посвященных разработке принципов регуляризации, формальное использование их в электроразведке в виде регуляризирующих функционалов с заданием ограничений на параметры, либо функции этих параметров, как показывает практика, не приводит к желаемым результатам. Причинами этого являются, с одной стороны, неучет ряда особенностей метода, связанных с неоднозначностью формирования интерпретационных моделей, выбором и приемами использования априорной информации, учетом информационных возможностей метода и др., с другой - тот факт, что на формирование наблюдаемого электрического поля, помимо самой модели среды, оказывает влияние целый ряд факторов, имеющих разную физическую природу и особенности проявления в электрическом поле (влияние техногенных полей и объектов, отклонения от интерпретационной модели (модельные шумы), аппаратные эффекты, методические погрешности и т.п.), что значительно затрудняет формализацию всего процесса.

Поэтому в триединстве составляющих метода, включающем его цели, физико-математические основы, методологию, на данном этапе весьма важную роль, на наш взгляд, играет именно методология – как совокупность принципов эффективного получения максимально достоверной и полезной геофизической информации [1].

На основе обобщения известных фактов и опыта производственных работ нами выделен ранее ряд таких принципов, нацеленных на повышение эффективности компьютерной интерпретации, требующих своего развития :

1. *Интегральный принцип*, основанный на согласованной интерпретации совокупности зондирований, который отвечает интегральной природе используемого электрического поля и пространственно-временным особенностям формирования геологических образований. Аналогичный принцип как достаточно эффективное средство повышения помехоустойчивости используется и в смежных областях, в частности, в теории передачи информации в виде блочного кодирования (Б.С. Светов, 1994).

2. *Принцип учета информационных возможностей метода при формировании интерпретационных моделей*, нарушение которого может приводить не к уточнению, а к замене искомого решения данными другого метода, используемого в качестве источника априорной информации. Информационные возможности потенциальных методов ограничены. В отличие от волновых методов геофизики (в частности, сейсморазведки), для которых имеются критерии оценки разрешающей способности (путем сопоставимости с длиной волны), в потенциальных методах такие критерии отсутствуют. Хотя из практики работ известно, что при определенной аппроксимации реального разреза, например, моделью с увеличивающимися с глубиной мощностями слоев (либо блоков) (не менее чем в три-четыре раза), обратная задача становится практически корректной (в смысле, что пределы эквивалентности решения становятся соизмеримы с погрешностью полевых наблюдений). С другой стороны, при попытках добиться чрезмерной детальности, не обеспеченной точностью, детальностью съемки, существует опасность выхода за рамки информационных возможностей. Регуляризация в этом случае может привести, по сути, к подмене одного метода другим, использованным в качестве источника априорной информации, создавая лишь иллюзию решения задачи данным методом. Определение “золотой” середины между детальностью

и разрешающей способностью - одна из проблем интерпретации (загрубление модели ведет к потере информации, повышение детализации – к увеличению пределов неоднозначности). Критерии определения разрешающей способности в электроразведке постоянным током существенным образом зависят от распределения плотности тока в пространстве, т.к. именно ток является тем проникающим в глубь земли “инструментом”, который, образно говоря, выносит на поверхность земли информацию о ее строении и физическом состоянии. В случае однородной среды плотность тока уменьшается обратно пропорционально квадрату удаления от источника. Поэтому можно предположить, что в случае относительно слабо-контрастных по сопротивлению разрезов при использовании, скажем, потенциальной двухэлектродной установки, примерно в той же пропорции будет уменьшаться и детальность расчленения разреза (информативность метода).

3. *Принцип разделения физического и геологического этапов истолкования, отличающихся по природе и способам доопределения задачи;*

4. *Принцип понижения модельной размерности*, одним из элементов которого является организация процесса истолкования, начиная от наиболее простых моделей в рамках модельной эквивалентности, отвечающих регулярной части поля и геологическим представлениям о разрезе. Существующая неоднозначность и эквивалентность решений значительно сужают класс моделей, пригодных для их практического применения. Поэтому при изучении относительно сложных моделей сред требуется некоторая последовательность усложнения модели и контроль соответствия ее информационным возможностям метода. В этой связи вполне оправдано использование одномерной модели как элемента восстановления трехмерной модели среды (наподобие того, как по данным бурения (одномерная модель) восстанавливается трехмерный геологический разрез). В качестве такой модели может быть использована квазигоризонтально-слоистая модель, аппроксимирующая реальный геоэлектрический разрез в окрестности точки зондирования горизонтально-слоистой средой.

На завершающем этапе интерпретации может быть выполнена оценка остаточных аномалий и, при необходимости, корректировка модели в соответствии с оценкой расхождения наблюдаемого и вычисленного для 3D модели полей.

5) *статистический принцип оценки и принятия решений;*

б) *принцип эквивалентности*, учитывающий пределы и закономерности изменения параметров эквивалентных решений, как одно из средств ввода дополнительной информации через обобщенные параметры среды.

Эти принципы учитывались при совершенствовании способа и технологии интерпретации.

Процесс количественной интерпретации содержит следующие основные этапы:

1. Автоматическая формальная интерпретация с получением нулевого приближения искомого решения в рамках δ -эквивалентности.

2. Формирование опорных решений по результатам анализа параметрических зондирований, аккумулирующих в себе априорную информацию (результаты бурения, электрического каротажа, результаты анализа формальных решений и т.п.).

3. Согласованная интерпретация совокупности всех зондирований для исследуемой площади с использованием опорных решений.

4. Статистический анализ, контроль и редакция полученных результатов, корректировка начальных условий и повторение пп. 2-4, либо завершение данного процесса.

Процесс площадной интерпретации начинается с выбора одного из опорных решений, обладающего наиболее полной и достоверной информацией (назовем

его активным опорным решением). Остальные параметрические точки (скважины) и соответствующие им опорные решения на данном этапе используются в качестве контрольных.

Контроль точности восстановленной модели среды осуществляется путем послыоного сравнения результатов стабилизации в параметрических точках с результатами анализа параметрических зондирований. При удовлетворительном их совпадении процесс интерпретации заканчивается. В противном случае среди контрольных отбирается зондирование, имеющее наибольшее расхождение между контрольным опорным решением и результатами первого этапа стабилизации. Данное контрольное опорное решение переходит в класс активных, и выше-рассмотренный процесс стабилизации повторяется, но уже с использованием двух опорных точек и т.д. до тех пор, пока не будет достигнута заданная точность, либо исчерпаны все опорные решения.

На следующем этапе оптимизации модели предусмотрена возможность сглаживания геоэлектрических границ в рамках δ -эквивалентности. Суть его сводится к минимизации следующего функционала:

$$\Phi(z_j) = \sum_{i=1}^{L1} \left(\frac{z_{ji} - \tilde{z}_{ji}}{z_{ji}} \right)^2 + \alpha \iint_{\Omega} \left[\left(\frac{\partial^2 Z_j}{\partial x^2} \right)^2 + \left(\frac{\partial^2 Z_j}{\partial y^2} \right)^2 \right] dx dy, \quad (1)$$

где $L1$ – количество зондирований на площади; n - число слоев; Z - сглаживаемый параметр – глубина залегания j -й границы, либо сопротивление j -го слоя; α - сглаживающий параметр подбирается так, чтобы выполнялось условие:

$$\left(\frac{1}{L1} \sum_{i=1}^{L1} \left(\frac{z_{ji} - \tilde{z}_{ji}}{z_{ji}} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} = \sigma, \quad (2)$$

где σ - среднее относительное квадратическое отклонение, определяющее пределы вариаций сглаживаемого параметра.

В качестве оптимального берется максимальное значение σ , обеспечивающее выполнение условия:

$$\left[\frac{1}{N \cdot L1} \sum_{i=1}^{L1} \sum_{j=1}^N \left(\frac{\rho_k - \tilde{\rho}_k}{\tilde{\rho}_k} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \leq \delta_0, \quad (3)$$

где ρ_k и $\tilde{\rho}_k$ - соответственно расчетная и наблюдаемая кривые кажущегося сопротивления $\rho_k(r)$; N - число разносов питающей линии (r); δ_0 - погрешность полевых наблюдений.

В области развития методов решения прямых задач продолжены исследования по разработке новых методов решения трехмерных задач рассеяния электромагнитных волн компактными препятствиями. Результаты исследований рассмотрены в приведенном в данном сборнике в докладе А.М.Серебренникова.

Основные результаты работ по изучению естественных электромагнитных полей с целью выявления и мониторинга зон тектонической активности сводятся к следующему: а) на базе отечественных комплектующих блоков сформирован аппаратно-программный комплекс для изучения геодинамических процессов в зонах активной тектоники и современной геодинамики методами электрометрии; б) проведены комплексные опытно-методические электроразведочные работы по

изучению геоэлектрического разреза, а также структуры и динамики изменения естественных электромагнитных полей на участке повышенной тектонической активности, расположенном в 25 км северо-восточнее п. Акташ (Алтайский сейсмологический полигон) в период времени, захватывающий произошедшее здесь 27 сентября 2003 г. достаточно мощное землетрясение с магнитудой 7.5; в) разработан и адаптирован применительно к данной задаче ряд программ для обработки, интерпретации и визуализации результатов электроразведочных мониторинговых наблюдений, включая программу первичной обработки массивов данных, позволяющей выполнять спектральный анализ и выборку сигналов с заданными характеристиками, программу решения прямой задачи магнитотеллурического зондирования для квазигоризонтально-слоистых моделей сред, программу визуализации мониторинговых электроразведочных наблюдений; г) проведена предварительная обработка и частичная интерпретация полученных материалов. Более подробно результаты исследований рассмотрены в совместном с А.В.Татаркиным докладе, содержащемся в данном сборнике.

В области разработки методов, основанных на использовании техногенных источников поля для изучения геологической среды разработан математический аппарат, реализованный в виде программы и проведено численное моделирование электромагнитного поля для модели источника в виде петли, погруженной в двухслойную среду, имитирующую источник возбуждения, используемый в пределах шахтного поля второго Березниковского рудоуправления ОАО “Уралкалий”. Результаты исследований приведены в докладе А.М.Серебренникова и А.А. Каменских.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бердичевский М.Н., Светов Б.С. Электроразведка на современном этапе. Геофизика. 1998. N 2. С. 4-11.

А. М. Серебренников

О ПРЕДСТАВЛЕНИИ ВОЛНОВЫХ ПОЛЕЙ С ПОМОЩЬЮ ИНТЕГРАЛОВ ЗОММЕРФЕЛЬДА И РОХЛИНА В ПЛОСКОСЛОИСТЫХ СРЕДАХ С ПОТЕРЯМИ

Задача возбуждения плоскостойкой среды заданными источниками является классической задачей геоэлектрики. Наиболее распространенным подходом к ее решению следует признать, по-видимому, метод тензорной функции Грина [1]. Однако мы не будем касаться его в данной работе. Другим традиционным подходом является использование интегральных представлений Зоммерфельда (интегралов плоских волн). Применению интегралов Зоммерфельда в задачах электродинамики и акустики посвящена обширная литература (см., например, [2] и [3]). Однако в этих и некоторых других источниках рассматриваются либо плоские задачи, либо задачи с цилиндрической симметрией, что является следствием лишь частных случаев геометрической конфигурации токов возбуждения, таких как бесконечная нить тока или электрический и магнитный диполи. В практических же целях представляют интерес источники сложной формы как, например, антенна СУБР (системы управления безопасностью работ), являющейся элементом технологического оборудования, применяемого на горных предприятиях. Отсюда следует необходимость обобщения метода интегралов Зоммерфельда на трехмер-

ные векторные задачи. В данной работе приводится такое обобщение на примере задачи возбуждения полупространства (в модели среды Земля-Воздух) линейным током в контуре произвольной формы (антенна СУБР). Новым теоретическим результатом этой работы, по-видимому, не известным в литературе, следует считать определение параметров контура Зоммерфельда для среды обладающей проводимостью и частотной дисперсией. Кроме того, в последние годы в иностранной литературе получил широкое распространение еще один метод разложения полей по плоским волнам, впервые предложенный В. Рохлиным [4]. При этом самим автором, а также другими исследователями этот метод применялся для “ускорения” численных процедур метода моментов при решении широко известного интегрального уравнения электрического поля, но до сих пор этот метод не был обобщен на задачи распространения волн в слоистых средах. В данной работе мы попытаемся заполнить этот пробел.

Представление фундаментальной функции уравнения Гельмгольца интегралами плоских волн Зоммерфельда и Рохлина

Известным представлением функции Грина однородного пространства является ее разложение в интеграл Фурье (интеграл по волновым числам):

$$g(\vec{r}, \vec{r}') = \frac{1}{8\pi^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\exp[-ik_1(x-x') - ik_2(y-y') - ik_3(z-z')] dk_1 dk_2 dk_3}{k_1^2 + k_2^2 + k_3^2 - k^2}.$$

Интегрирование по одному из волновых чисел (скажем по k_3) может быть выполнено аналитически с помощью теории вычетов, а оставшийся интеграл с помощью замены переменных интегрирования $k_1 = k \sin \xi \cos \eta$, $k_2 = k \sin \xi \sin \eta$ сводится к виду:

$$g^{\mp}(\vec{r}, \vec{r}') = \frac{-ik}{8\pi^2} \int_{\Gamma} \int_0^{2\pi} e^{-ikr \cos \psi} \cdot e^{ikr' \cos \psi'} \sin \xi d\xi d\eta$$

где Γ – контур Зоммерфельда (рис.1);

$$\cos \psi = \sin \xi \cdot \sin \theta \cdot \cos(\varphi - \eta) \mp \cos \xi \cdot \cos \theta$$

. Под g^{\mp} мы понимаем, вообще говоря,

две функции: g^{-} выбирается в

случае $r' \cos \theta' > r \cos \theta$ и g^{+} - в слу-

чае $r' \cos \theta' < r \cos \theta$. Обычно в клас-

сической литературе упоминается,

что интегралы Зоммерфельда обобщаются на среды с потерями (с комплексным

волновым числом k), однако автору не известны литературные источники где бы

определялись параметры контура Зоммерфельда, а именно, положение угловой

точки на контуре, для таких случаев. Нами установлено, что положение угловой

точки определяется как $\arctg(k_{re}/k_{im})$, а известное в литературе значение $\pi/2$

следует как асимптотический случай при $k_{im} \rightarrow 0$. Сейчас рассмотрим известное

представление функции g в форме теоремы сложения Гегенбауэра [5] для сфери-

ческих гармоник, справедливое при $r' > r$:

$$g(\vec{r}, \vec{r}') = \frac{ik}{2\pi} \sum_{nm} j_n(kr) h_n^{(1)}(kr') Y_{nm}^*(\theta, \varphi) Y_{nm}(\theta', \varphi').$$

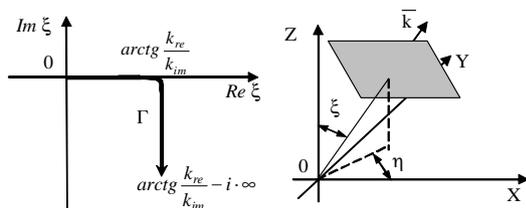


Рис.1. Контур Зоммерфельда и представление поля в виде пучка плоских волн

Далее нам потребуется интегральное тождество, следующее из разложения скалярной плоской волны по сферическим гармоникам:

$$j_n(kr) Y_{nm}^*(\theta, \varphi) = \frac{i^n}{4\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^\pi Y_{nm}^*(\xi, \eta) e^{-ikr \cos \psi} \sin \xi d\xi d\eta.$$

Скомбинирав два последних соотношения, получим еще одно (наряду с интегралом Зоммерфельда) разложение функции Грина в интеграл плоских волн [4]:

$$g(\vec{r}, \vec{r}') = \frac{k}{8\pi^2} \int_0^{2\pi} \int_0^\pi T(\vec{r}', \xi, \eta) e^{-ikr \cos \psi} \sin \xi d\xi d\eta, \quad (2)$$

где $T(\vec{r}', \xi, \eta) = \sum_{nm} i^{n+1} h_n^{(1)}(kr') Y_{nm}^*(\theta', \varphi') Y_{nm}(\xi, \eta)$. Отличительной особен-

ностью интеграла (2) является то, что угловой спектр плоских волн полностью действительный (контуры интегрирования по ξ и η лежат полностью на действительной оси).

Векторный интеграл Зоммерфельда

Разложение произвольного векторного электромагнитного поля по плоским волнам может быть получено в результате комбинирования двух следующих аналитических представлений: интегралов Стрэттона-Чу и интеграла (1). В результате серии преобразований получим электрический вектор в виде:

$$\vec{E}(\vec{r}') = -\frac{ik}{8\pi^2} \int_0^{2\pi} \int_\Gamma \vec{P}_E^\mp(\xi, \eta) e^{ikr' \cos \psi'} \sin \xi d\xi d\eta, \quad (3)$$

где $\vec{P}_E^\mp(\xi, \eta)$ - спектральная функция поля (диаграмма излучения, аналитически продолженная в область комплексных углов места ξ). Аналогичное представление может быть получено и для магнитного вектора. Разложение типа (3) может быть получено также с привлечением интеграла (2). После некоторых рутинных, но очевидных преобразований над выражением (2) получим:

$$\vec{E}(\vec{r}') = \frac{k}{8\pi^2} \int_0^{2\pi} \int_0^\pi T(\vec{R}, \xi, \eta) \vec{P}_E(\xi, \eta) e^{ikr'' \cos \psi''} \sin \xi d\xi d\eta, \quad (4)$$

где входящие в выражение (4) радиусы-векторы связаны тождеством $\vec{r}' = \vec{R} + \vec{r}''$.

Взаимодействие поля произвольных токов с плоской границей раздела сред

Рассмотрим модель среды, как показано на рис. 2. Пусть k_1, k_2 - диэлектрические проницаемости и волновые числа в полупространствах 1 и 2 соответственно. Источник поля (линейная антенна) расположен в полупространстве 1 - «земля». Первичное поле источника при взаимодействии с границей раздела полупространств порождает два поля: поле волн, отраженных от границы раздела, в первое полупространство и поле волн, прошедших во вторую среду (полупространство 2 - «воздух»). «Технология» интегралов Зоммерфельда допускает простую геометрическую интерпрета-

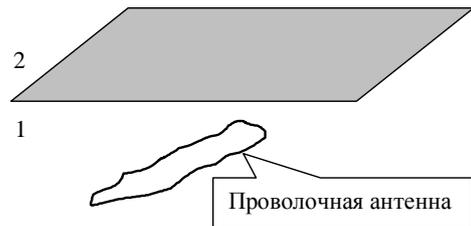


Рис.2. Модель двухслойной среды

цию: волновой процесс произвольной структуры представляется континуумом плоских волн, характеризующихся различными направлениями волновых векторов, а как известно, задача взаимодействия плоской волны с плоской границей раздела сред заключается в умножении ее комплексной амплитуды на коэффициенты отражения и прозрачности Френеля. Так, например, для поля в первой среде имеем: $\vec{E}_I = \vec{E}_i + \vec{E}_s$, где \vec{E}_i - первичное поле, \vec{E}_s - отраженное поле,

$$\vec{E}_s(\vec{r}') = -\frac{ik_I}{8\pi^2} \int\int_{\Gamma} \tilde{R}(\xi, \eta) \cdot \vec{P}_E^{\mp}(\xi, \eta) e^{ik_I r' \cos \psi'} \sin \xi d\xi d\eta,$$

\tilde{R} - тензорный коэффициент отражения. С использованием разложения (4) для отраженного поля получим следующее выражение:

$$\vec{E}_s(\vec{r}') = \frac{k_I}{8\pi^2} \sum_{nm} h_n^{(I)}(k_I R) Y_{nm}(\theta_R, \varphi_R) \int\int_{00}^{2\pi\pi} Y_{nm}^*(\xi, \eta) \tilde{R}(\xi, \eta) \cdot \vec{P}_E(\xi, \eta) e^{ik_I r'' \cos \psi''} \sin \xi d\xi d\eta$$

Спектральные функции линейного тока

Спектральные функции токов в линейных проволочных антеннах могут быть получены из общих выражений электрического и магнитного полей с помощью интегралов Стрэттона-Чу. Например, для спектральной функции электрического поля (диаграммы электрического поля) имеем:

$$\vec{P}_E^{\mp}(\xi, \eta) = \frac{iIk^2}{\omega\epsilon} \int_L [\vec{e}_{r'}[\vec{e}_{r'} \cdot \vec{t}] - \vec{t}] e^{-ikr \cos \psi} dL,$$

где L – контур антенны; I- ток; \vec{t} - единичный касательный вектор к контуру L.

Заключение

Для обеспечения проблемы моделирования полей техногенных источников решается задача определения поля антенны СУБР. К настоящему моменту выполнены расчеты поля у поверхности земли для антенны, геометрия которой и технические параметры соответствуют системе, установленной на предприятии БКРУ-2 Верхнекамского месторождения солей. Дальнейшее развитие предложенной модели связано с ее обобщением на случай среды с произвольным числом плоских слоев.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дмитриев В. И. Электромагнитные поля в неоднородных средах. М.: Изд-во МГУ, 1969.
2. Бреховских Л. М. Волны в слоистых средах. М.: Изд-во АН СССР, 1957.
3. Фейнберг Е. Л. Распространение радиоволн вдоль земной поверхности. М.: Наука, Физматлит, 1999.
4. Coifman R., Rokhlin V., Wandzura S. // IEEE A&P Magazine. 1993. V.35. № 3. P. 7-12.
5. Абрамовиц М., Стиган И. Справочник по специальным функциям. М.: Наука, 1979.

О РЕЗУЛЬТАТАХ ЭЛЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ РАБОТ В ЗОНЕ АКТИВНОЙ ТЕКТониКИ НА ЮГЕ СИБИРИ

Проблема своевременного обнаружения, оценки и прогноза развития негативных геологических процессов, обусловленных тектонической активностью, является одной из наиболее актуальных при обеспечении безопасной эксплуатации гражданских и промышленных сооружений. Один из подходов к ее решению связан с использованием методов электрометрии. Физико-геологические предпосылки перспективности применимости методов электрометрии при выделении и мониторинге зон активной тектоники определяются высокой чувствительностью электрического сопротивления к изменениям степени трещиноватости пород, их газо-, водонасыщенности, минерализации водных растворов, сопровождающим процесс эволюции землетрясений, а также с различными, по своей природе, механо-электрическими преобразованиями, вызывающими появление меняющихся во времени электромагнитных излучений.

Данное сообщение отражает результаты первого этапа опытно-методических работ, проводимых с целью поиска закономерностей и критериев отображения в электромагнитных полях аномальных явлений, связанных с влиянием процессов, происходящих в зонах активной тектоники.

Полевые наблюдения проводились в августе и ноябре 2003 г., а также в августе 2004 г. на участке, расположенном в 25 км северо-восточнее п. Акташ, в период достаточно крупного землетрясения (с магнитудой 7.5), произошедшего 27 сентября 2003 года в непосредственной близости к данному участку.

Комплексные электроразведочные наблюдения включали: 1) мониторинговые измерения компонент естественных переменных электромагнитных полей с частотой дискретизации 100 кГц; 2) мониторинговые измерения удельного электрического сопротивления с аппаратурой низкой частоты; 3) электрические зондирования по профилю, пересекающему зону тектонического нарушения; 4) измерения анизотропии среды.

Наблюдение естественных электромагнитных полей было синхронизировано по времени с сейсмологическими наблюдениями и проводилось с помощью аппаратно-программного комплекса, который был скомплектован из малогабаритного аналого-цифрового преобразователя L-Card, двух электрических и трех магнитных датчиков, ноутбука (класса Pentium 4) с программой регистрации ResWin (Горный институт УрО РАН, Пермь

В общей сложности за период проведенных исследований получено более 300 ГБ информации о поведении электромагнитного поля в заданной точке наблюдений.

В результате обработки были получены частотные характеристики регистрируемых полей, гистограммы частотного состава и построены спектрограммы напряженности электрического поля.

Анализ частотного состава электромагнитного поля показал, что интенсивность излучения значительно меняется в зависимости от активности геодинамических процессов. В целом наибольшая интенсивность (до 350 импульсов) наблюдается в сверхнизкочастотном (0.04-2 Гц) и высокочастотном (7000-9000 Гц) диапазонах, сопровождаемых серией всплесков в высокочастотной (10-12 кГц, 18-20 кГц, 22-23 кГц, 25 кГц) области. Отмечается небольшое повышение интенсивности в диапазоне 4-8 Гц.

Амплитудно-частотные характеристики сигналов фиксируют наличие наибольших значений амплитуд в диапазоне сверхнизких (0.04-10 Гц) и высоких (10-25 кГц) частот. Характер изменения интенсивности во времени в период, предшествующий сейсмическому событию, в ряде случаев наиболее близок к модели лавинно-неустойчивого трещинообразования, при которой процесс трещинообразования начинается с образования сначала мелких трещин (высокие частоты) с последующим образованием более крупных нарушений (низкие частоты поля). Завершение фазы повышенной интенсивности электромагнитного поля сопровождается фазой относительного затишья, предшествующей сейсмическому событию. В рассмотренном примере эта фаза длится в течение 2-3 часов.

Для проведения работ в августе 2004 года был значительно усовершенствован программно-измерительный комплекс. Вместо модуля АЦП Е-330, применявшегося на первом этапе работ в комплекте с ноутбуком Pentium - II, был использован модуль Е-440, с более мощным ноутбуком (Pentium-IV). Комплект аппаратуры также был дополнен тремя магнитными датчиками, предоставленными сотрудниками Института Геофизики УрО РАН. Частота дискретизации записи составляла от 10 до 50 кГц.

Визуальный анализ структуры суточных вариаций поля показывает, что это поле неоднородно по составу. Выделяется до трех видов сигналов, просматриваемых в пределах облака наблюдаемых значений, один из которых фиксируемый в частотном диапазоне 6-8 Гц и устойчиво прослеживаемый в течение всего периода режимных наблюдений, позволяет предположить его техногенную природу.

Учитывая существующие особенности полей внутриземного и ионосферного происхождения (относительно случайный, импульсный характер ЭМИ и сравнительно устойчивый характер проявления МТ поля, связанного с физическими свойствами геоэлектрической модели среды) в качестве одного из приемов опробован вариант выделения регулярной составляющей электромагнитного поля, отражающей физические свойства геоэлектрической модели среды (магнитотеллурической составляющей) по результатам режимных наблюдений.

Следует отметить, что ввиду достаточно большого объема материала (более 2000 исходных файлов по 50 Мб) и отсутствия на данный момент завершеного варианта программы объединения файлов (содержащих информацию) по отдельным интервалам времени в основном от 2.5 до 4 часов) их объединение, выполняемое лишь в отдельных случаях, осуществлялось "вручную", либо обработка информации осуществлялась в рамках отдельно взятых файлов, что, соответственно, ограничивало максимальный период анализируемых колебаний электромагнитного поля и позволяло получать лишь первое представление об изучаемых физических процессах.

Поинтервальный анализ наблюдаемого поля показывает, что характер поведения регулярной его составляющей зависит от времени суток: первый вид зависимости наблюдается в основном в первой половине дня (от 4.5 часа до 15 часов), второй – менее устойчивый – в вечерние и ночные интервалы времени. Это наглядно отмечается на динамических разрезах ρ_k , характеризующих изменение свойств среды во времени. Получение значений кажущегося сопротивления (кривых МТЗ) осуществлялось методом наименьших квадратов с использованием весовых значений.

Оценка динамики изменения электрических сопротивлений, выполненная по кривым МТЗ, соответствующих первому типу наблюдаемого поля, показывает закономерное понижение со временем значений электрического сопротивления

опорного горизонта. Количественная интерпретация показала, что эти изменения происходят на глубинах порядка 12-14 км.

Для изучения геоэлектрического разреза и анизотропии пород в районе пункта наблюдений, а также изменения электрических свойств во времени были использованы два его варианта: метод вертикального электрического зондирования и метод непрерывной регистрации электрического поля, создаваемого с помощью электродов, расположенных на заданном удалении друг от друга.

Профильные наблюдения методом вертикального электрического зондирования велись симметричной установкой Шлюмберже. Разносы питающей линии АВ менялись в интервале от 5.2 до 200 м. Приемная линия составила 2 м. Для измерений была использована полевая электроразведочная аппаратура АНЧ-3. Исследуемый профиль располагался в крест предполагаемого тектонического нарушения.

Разрезы кажущихся электрических сопротивлений, полученные до и после активной фазы землетрясения, показывают хорошую сопоставимость между собой: отчетливо проявляются два участка, разделенных зоной тектонического нарушения – западный участок относительно повышенного сопротивления ($\rho_k = 250 - 1570 \text{ Ом}\cdot\text{м}$), прослеживаемый на пикетах 1-14, и восточный участок пониженных значений сопротивления ($\rho_k = 60-200 \text{ Ом}\cdot\text{м}$), отмечаемый на пикетах 15-57. Наиболее вероятной причиной такого характера поведения электрических сопротивлений является изменение гидрогеологических условий вдоль профиля: низкоомная часть профиля пространственно приуроченная к области повышенной водообильности пород вследствие водотока между двумя озерами, одно из которых расположено севернее, а второе – южнее данного профиля, в то время как высокоомная зона приурочена к бортовой части этой области с повышенными отметками рельефа. В пределах восточной окраины профиля (пк 53-58) отмечается начало восточного борта этой зоны.

Основные отличия результатов зондирования, выполненных после землетрясения относительно полученных до активной фазы землетрясения, проявляются в наличии двух основных факторов: а) повышении дифференциации и латеральной изменчивости свойств среды; б) повышении значений кажущегося сопротивления, особенно восточной его части, примерно на 30-35 %. Первый фактор вполне объясним с позиции нарушенности пород вследствие произошедших геодинамических явлений. Наиболее вероятной причиной второго фактора может служить изменение гидрогеологических условий, вызвавших уменьшение водосодержания пород в исследуемом интервале глубин (например, вследствие повышения водопроницаемости нижележащих водоносных горизонтов). При этом каких-либо существенных изменений непосредственно в зоне тектонического нарушения практически не наблюдается.

Оценка анизотропии горных пород, выполненная на трех пикетах профиля с помощью крестовых зондирований показала, что коэффициент анизотропии в зоне разлома в 1.25 – 1.33 раза превышает его фоновые значения.

Для осуществления мониторинговых наблюдений за изменением электрических свойств среды был использован генератор аппаратуры АНЧ-3, генерирующий квазинизкочастотное электрическое поле частотой 4.88 Гц, и программно-измерительный комплекс.

Питающие электроды располагались с двух сторон от зоны тектонического нарушения примерно на одинаковом удалении от нее. Величина разноса АВ составляла 470 м. В качестве приемных использовались две линии MN гальванического типа. Их размеры и ориентация соответствовали мониторинговым наблю-

дениям естественного электромагнитного поля. Измерения проводились в течение одних суток (26.08.04 г. с 14.32 до 21.32 часа).

В качестве анализируемого использовалась составляющая наблюдаемого поля частотой 4.88 Гц, выделенная в результате спектрального анализа наблюдаемого поля.

Полученные графики кажущегося сопротивления показывает, что электрическое сопротивление исследуемой части разреза испытывают закономерные изменения во времени. Величина максимального относительного изменения сопротивлений составляет порядка 12 %. Характер изменения электрических сопротивлений, замеренных в субширотном (а) и субмеридиальном (б) направлениях существенно различный, что указывает на разный характер физических процессов, происходящих вдоль и вкrest линии тектонического нарушения.

Данные исследования предполагают дальнейшее совершенствование программно-измерительного комплекса и технологии ведения полевых работ, создание способов компьютерной обработки и интерпретации результатов наблюдений, обработку, интерпретацию и всесторонний анализ материалов электрометрических наблюдений, полученных в 2003-2004 годах в районе Алтайского сейсмологического полигона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Электромагнитные предвестники землетрясений / Отв. ред. акад. Садовский М.А. М.: Наука, 1982.

А. А. Каменских, А. М. Серебренников

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ИСТОЧНИКА ТОКА В ФОРМЕ ПЕТЛИ, ПОГРУЖЕННОЙ В СЛОИСТОЕ ПРОСТРАНСТВО

Использование электромагнитных (ЭМ) полей техногенного происхождения для изучения строения и физического состояния геологического разреза давно привлекает внимание исследователей. Перспективность использования таких полей обусловлена большой глубиной их проникновения, высокой стабильностью во времени их параметров, простотой технологии измерения, поскольку исключается необходимость в развертывании сложных генерирующих систем и т.д. В настоящее время в лаборатории НПЭ Горного института проводится комплекс работ по созданию интерпретационного обеспечения данных измерений ЭМ полей, порожденных элементами системы управления безопасностью шахтных работ (СУБР), введенной в эксплуатацию на горных предприятиях ОАО “Уралкалий”. Основные характеристики этой системы приведены в таблице 1. На первом этапе разработана математическая модель возбуждения однородного полупространства криволинейным контуром произвольной геометрии, имитирующим антенну СУБР (рис.1.). На основе данной модели проводится расчет фоновой составляющей ЭМ поля. Практическая ценность этой достаточно простой модели состоит в том, что путем “вычитания” расчетного (фонового) поля из наблюдаемого можно получить информацию о строении аномальных зон геологического разреза.

Численный анализ

В модели среды, изображенной на рис.1. ЭМ поле в полупространстве 1 можно записать в виде:

$$\vec{E}(\vec{r}') = \vec{E}_{перв}(\vec{r}') + \frac{k_I}{8\pi^2} \sum_{nm} h_n^{(I)}(k_I R) Y_{nm}(\theta_R, \varphi_R) \int_0^{2\pi} \int_0^\pi Y_{nm}^*(\xi, \eta) \tilde{R}(\xi, \eta) \cdot \vec{P}_E(\xi, \eta) e^{ik_I r'' \cos \psi''_s \sin \xi} d\xi d\eta, \quad (1)$$

где $\vec{E}_{перв}$ - первичное поле (без учета взаимодействия с границей полупространства). Вывод выражения (1) можно найти в статье А. Серебренникова данного сборника. С использованием этого выражения проведем исследование распространения ЭМ поля, порожденного антенной СУБР в полупространстве, которому приписаны свойства сальвина. Итак, выберем геометрию антенны и ее технические параметры (см. табл.1), соответствующие системе, установленной на предприятии БКРУ-2 ВКМКС.

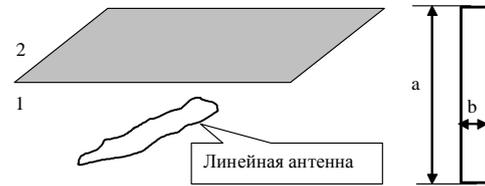


Рис.1. Модель двухслойной среды

Таблица 1

Ток, А	Не менее 30
Частота поля, Гц	1066-1070
Мощность ЭМ импульса, МВт	≈5
Глубина залегания антенны, м	200
Проводимость среды, См/м	0.01-0.0001
Относительная диэлектрическая проницаемость среды	4-6

Геометрически антенный контур представляет собой вытянутый «эллипс», максимальный диаметр которого составляет ≈8 км. В расчетах этот контур моделировался прямоугольной рамкой с размерами 30×8000 м. (рис.1). Расчеты проводились для трех значений проводимости среды: 0.0001, 0.001, 0.01 См/м. Во всех случаях определялся модуль электрического вектора в среде вблизи границы раздела «Земля-воздух» с использованием представления (1). В связи с этим отметим одну особенность. Второе слагаемое в (1) представляет собой ряд по системе метагармонических функций $h_n^{(I)}(kr) \vec{P}_n^{(m)}(\cos \theta) e^{im\varphi}$. Несмотря на то что это сходящийся ряд, исследователями, применявшими аналогичные представления, была установлена численная неустойчивость при суммировании гармоник с высшими номерами n,m. Поэтому представляет интерес численный эксперимент для установления «пороговых» значений этих параметров при которых вычисление еще устойчиво. Нами были проведены численные эксперименты, результаты которых представлены ниже.

Таблица 2

порядок мультиполя, n	проводимость 0.0001, См/м		проводимость 0.001, См/м		проводимость 0.01, См/м	
	Е, мВ/м	погрешность, %	Е, мВ/м	погрешность, %	Е, мВ/м	погрешность, %
40	1,54	0,65	0,298	0	0,0474	0
41	1,55	0,00	0,298	0	0,0474	0
42	1,55	1,90	0,298	0	0,0474	0
43	1,58	2,50	0,298	0	0,0474	0
44	1,62	203,00	0,298	0	0,0474	0
45	4,91	37,40	0,298	0	0,0474	0
46	6,75	710,00	0,298	0	0,0474	0
47	54,70	43,10	0,298	0	0,0474	0
48	78,30	764,60	0,298	0	0,0474	0
49	677,00	46,40	0,298	0	0,0474	0
50	991,00		0,298		0,0474	

Под погрешностью в табл. 2 понимается относительная невязка вида $\delta_n = (\max |\vec{E}_{n+1}| - \max |\vec{E}_n|) / \max |\vec{E}_n|$. Как видно из табл. 2 для величины проводимости 0.0001 См/м таким пороговым значением оказалось $n=44$. Для остальных значений проводимости вычисление было устойчивым для любых n , что объясняется быстрым затуханием поля в среде и, следовательно, малостью второго слагаемого в правой части (1) по сравнению с первым. Далее рассмотрим “геометрию” поля для двух значений проводимости. На рис. 2. приведено распределение модуля напряженности электрического поля над антенной СУБР у поверхности Земли. По осям X,Y отложены расстояния в километрах, а по Z - модуль напряженности в мВ/м. Установлена более сложная структура поля для случая пониженной проводимости (0.0001 См/м), которая, очевидно, объясняется существенным интерференционным взаимодействием первичного поля с плоской границей раздела «Земля-воздух». Резкий спад напряженности в направлении оси Y является следствием специфической геометрии контура антенны, а не потерями за счет проводимости: токи, текущие в длинных отрезках контура приводят к компенсации поля на расстояниях существенно больших длины коротких отрезков.

Выводы

Полученные результаты могут быть использованы при интерпретации экспериментальных площадных наблюдений с целью изучения особенностей строения геоэлектрического разреза, выявления и картирования аномальных зон, связанных с отклонениями наблюдаемого поля от его фоновых величин, полученных в результате математического моделирования.

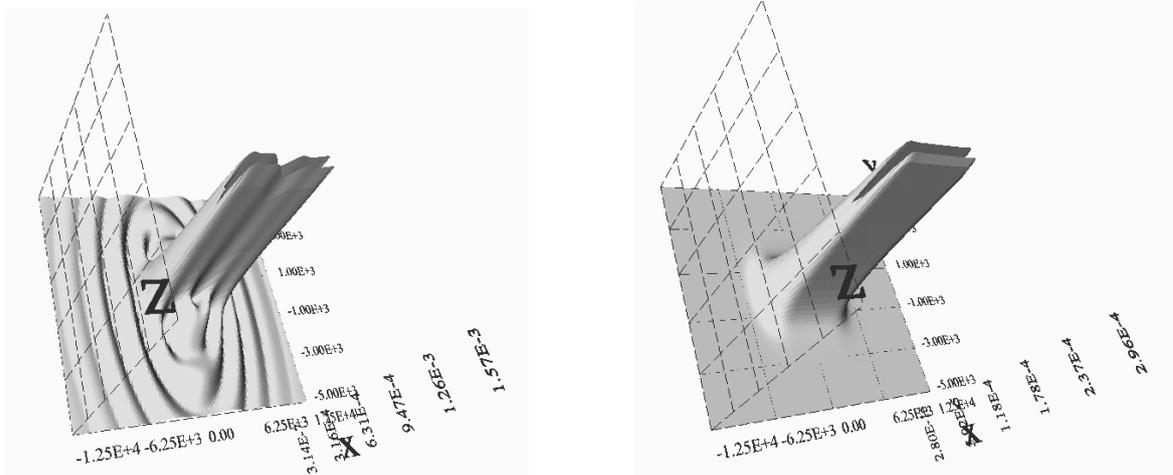


Рис. 2. Модуль напряженности электрического поля у поверхности земли для значений проводимости 0.0001 См/м (слева) и 0.001 См/м (справа)

СЕЙСМОСТРАТИГРАФИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ПРИ РЕШЕНИИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

Сейсмостратиграфия как одно из направлений развития интерпретационных технологий сейсморазведочных данных усилиями американских геофизиков сформировано в начале 80-х годов прошлого века. Переводное издание Ч. Пейтона «Сейсмическая стратиграфия» (1982) формально положило начало его применению и в СССР. В концентрированном виде суть данного направления можно сформулировать как определение условий осадкообразования по рисунку суммарных сейсмозаписей. При их описании вводится понятие сейсмофация. Подобный подход неоднократно доказывал свою эффективность при сейсморазведочных работах на нефть и газ. Успешность его применения в основном определяется качеством интерпретируемых данных. Отношение сигнал/помеха должно быть не менее 4-5 при достаточно высокочастотной записи, обеспечивающей идентификацию структурных элементов, определяющих тип сейсмофации (риф, клиноформа, палеоруло, дизъюнктив).

Современное аппаратно-методическое обеспечение инженерной сейсморазведки позволяет сегодня использовать на этапе интерпретации инструменты сейсмостратиграфии. Подобные возможности появились в основном за счет применения для решения инженерно-геологических задач отраженных волн, регистрируемых по методике многократных перекрытий.

В качестве примера, иллюстрирующего возможности сейсмостратиграфического подхода, рассмотрим результаты сейсморазведочных исследований карстовых процессов на территории г. Кунгура. Полевые работы выполнены по методике невзрывной малоглубинной сейсморазведки высокого разрешения с использованием интерференционной системы наблюдений по общей глубинной точке [1]. Параметры системы наблюдений соответствовали интервалу исследований (до 50 м) и размерам предполагаемых неоднородностей в 1-3 м. Регистрация сейсмических колебаний осуществлялась с помощью цифровой компьютеризированной сейсмостанции IS-48.

Граф обработки включал широкий набор процедур: полосовая и обратная фильтрации, расчет и коррекция кинематических поправок, расчет остаточных фазовых сдвигов по программам коррекции статических поправок, вычитание наиболее интенсивных поверхностных волн-помех, коррекция формы сигнала, когерентная фильтрация. Основными результатами цифровой обработки являются окончательные временные разрезы общей глубинной точки (ОГТ), которые вместе с результатами скоростного анализа и динамическими разрезами составляют информационную базу этапа интерпретации.

На временных разрезах отмечается ряд наиболее динамически выраженных осей синфазности, которые соответствуют целевым сейсмическим отражающим горизонтам (ОГ), приуроченным к конкретным геологическим границам. Стратиграфическая привязка ОГ производится в соответствии с результатами скоростного анализа и данными бурения инженерно-геологических скважин в пределах площади изысканий.

Первый отражающий горизонт (ОГ Gr) регистрируется на временах приблизительно в 12-14 мс. Он находится на глубине в $\approx 16-18$ м от поверхности наблюдений и приурочен в основном к кровле гравийного грунта. Второй отражающий горизонт (ОГ Ob) соответствует глубинам 22-24 м и связан с кровлей обваль-

карстовых пород. Под обвальными карстовыми породами на глубинах 29-30 м залегает гипсо-ангидритовая толща, с кровлей которой связан ОГ Gi. Замыкает исследуемый интервал разреза ОГ Do на глубинах 50-55 м, приуроченный к кровле доломитов или доломитизированных известняков. На отдельных участках площади работ выделяется дополнительный отражающий горизонт (Izv), приуроченный к пачке «неволинских» известняков иренской свиты кунгурского яруса.

Основное внимание при анализе уделяется карстующемуся интервалу гипсо-ангидритов (ОГ Gi - Do). В качестве исходной информации для этапа интерпретации традиционно используются следующие параметры волнового поля:

1) структура волновой картины, представленная на временном разрезе по общей глубинной точке; 2) ее интенсивность, оцениваемая по динамическому временному разрезу; 3) ее кинематическая составляющая, оцениваемая по скоростной характеристике, представляющей распределение эффективных скоростей во временной области. Совместное проявление всех перечисленных сейсмических характеристик анализируется с помощью *комплексного параметра* [2].

На основании подобного анализа выделено три типа волновых аномалий. Для первого типа характерна наклонная и прерывистая рисовка отражающих горизонтов как в толще, перекрывающей гипсо-ангидриты, так и в них самих. В пределах всей волновой аномалии отмечается относительно пониженное затухание интенсивности сейсмической записи и неконтрастно выраженное снижение значений скоростной характеристики.

Для третьего типа в средней и нижней частях гипсо-ангидритовых отложений фиксируются особенности волнового поля, наблюдаемые обычно при наличии пустот [3]. К ним относятся: повышенное затухание интенсивности сейсмической записи на краях волновой аномалии, вызванное наложением дифрагированных волн; нарушение регулярности волновой картины в центральной части неоднородности и по нижележащим отражающим горизонтам ОГ Do; относительно низкие значения скоростной характеристики в центре неоднородности; ложный прогиб осей синфазности нижележащих отражений.

Волновая аномалия второго типа занимает и верхнюю половину толщи гипсо-ангидритов. В верхней половине она характеризуется признаками волновой аномалии третьего типа, а в нижней – первого.

Интерпретационные модели различаются по степени и пределам распространения нарушений нормально-слоистой структуры геологического разреза карстовыми процессами. Для первого типа нарушения геологического строения захватывают верхнюю половину толщи гипсов и вышележащие отложения. Интенсивность затухает к поверхности земли. Для второго типа негативные изменения в геологическом строении наблюдаются в толще гипсо-ангидритов, перекрытой сверху ненарушенными пластами известняков или самих же гипсо-ангидритов малой мощности. Для третьего типа карстогенная нарушенность разреза сосредоточена в средней и нижней частях толщи гипсо-ангидритов.

Представленные модели описывают три типа сейсмофаций в интервале карстующихся отложений. Первый тип отражает конечную стадию растворения пород с реализованным обрушением вышележащих отложений в область растворения. Третий тип описывает начальную стадию формирования карстогенной нарушенности- появление полости. Второй тип занимает промежуточное положение, когда за счет растворения вмещающих пород полость заполняется, но еще сохраняется устойчивость перекрывающих отложений.

На основании данной классификации по результатам интерпретации сейсморазведочных данных в пределах всех обследованных участков выделен ряд зон

распространения различных типов сейсмофаций. В их пределах пробурено 5 карстологических скважин. Две скважины заверяли третий тип, две - первый и одна - второй. Данные бурения подтвердили прогнозируемые геологические модели, что позволило рассмотреть связь особенностей распространения выделенных сейсмофациальных зон с параметрами геологического разреза, известными по данным бурения. В результате определены геологические признаки потенциальной карстоопасности, оцениваемой по возможности образования полостей. Они включают: пониженный рельеф поверхности доломитов, повышенную мощность гравия, повышенную мощность и малую глубину гипсо-ангидритов. По их согласованному поведению в пределах района работ намечен ряд участков, не охваченных сейсморазведочными исследованиями, где вероятно образование карстовых полостей. Для оценки реальности прогнозов, подобные участки требуют постановки дополнительных инженерно-геологических и геофизических исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Санфилов И.А. Рудничные задачи сейсморазведки МОГТ. Екатеринбург: УрО РАН, 1996.
2. Санфилов И.А., Пригара А.М. Использование динамических характеристик сейсмических записей для уточнения прочностных характеристик массивов горных пород. Горное эхо: Вестник Горного института УрО РАН. 2002. №3. С. 26-30.
3. Санфилов И.А., Ярославцев А.Г. Опыт применения сейсморазведки ОГТ для решения инженерно-геологических задач. Геофизика. ЕАГО. 2004. №3. С. 27-30.

А.И. Бабкин

ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕЙСМОРАЗВЕДОЧНОГО МОНИТОРИНГА ИЗМЕНЧИВОСТИ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА

Оценка изменчивости напряжённно-деформированного состояния массива в процессе его отработки является одной из первостепенных задач, с решением которой напрямую связана безопасность горного производства в целом. Выбор необходимых параметров системы отработки продуктивных пластов в конкретных геологических условиях основан на гибкой системе геомеханического обеспечения, способной оперативно учитывать локальные изменения горно-геологической обстановки. В связи с этим особую актуальность приобретают вопросы, связанные с возможностью оценки состояния породного массива дистанционными методами контроля, к которым следует отнести геофизические исследования.

Со степенью напряжённно-деформированного состояния массива связаны изменения упругих характеристик пород, проявляющиеся при сейсморазведочных исследованиях в параметрах регистрируемых волновых полей. Основной вклад в изменчивость сейсмической записи вносят уменьшение общей пористости и трещинообразование. Пористые породы характеризуются более заметным изменением скорости волн при увеличении давления. Так, при лабораторных измерениях установлена зависимость диапазона изменения скорости от пористости [1]. При увеличении давления на 50 – 60 МПа для пород с пористостью 20% происходит повышение скорости продольных волн на 30 – 40%. Под действием увеличивающегося напряжения образуются трещины или, иначе говоря, изменяется степень

нарушенности пород, которая также оказывает влияние на параметры упругих волн. Известно, что с ростом действующей нагрузки скорость упругих волн сначала возрастает за счёт уплотнения материала, а затем падает в связи с нарушением сплошности [4].

Перечисленные взаимосвязи изменения напряжённо-деформированного состояния горного массива с характеристиками упругих волн определяют возможность использования сейсморазведочных данных для геомеханического контроля безопасного горного производства.

Выбор наиболее информативного набора параметров регистрируемых волновых полей целесообразен на основе решения прямой задачи. При расчёте синтетического волнового поля допускаются определенные упрощения, вследствие которых невозможно учесть модельные изменения в процессе деформирования массива.

В отличие от математического, физическое моделирование позволяет напрямую оценить закономерности в распространении упругих волн, связанные с фактическими изменениями физических и структурных параметров породных объектов. Проводимые в настоящее время исследования изменения характеристик проходящих волн при нагружении образцов достаточно сложно применить в практических исследованиях как вследствие масштабного эффекта, так и по причине упрощенной имитации полевых систем наблюдений. В этой связи несомненный теоретический и практический интерес представляет физическое моделирование современных сейсморазведочных технологий, к которым следует отнести методику многократных перекрытий по общей глубинной точке (ОГТ).

В рамках решения представленной задачи нами выполнено физическое моделирование изменения напряжённо-деформированного состояния образца при различной степени нагружения: 1) без нагрузки; 2) 3,03 МПа; 3) 6,06 МПа; 4) 12,12 МПа; 5) 18,8 МПа. В качестве используемого материала взят блок силвинита. Его размеры: длина – 30 см, ширина – 11 см, высота – 17 см. В пределах горизонтальной плоскости имитирована интерференционная система наблюдений методики многократных перекрытий со следующими параметрами: 15-канальная центральная с раскрытием и закрытием системы на концах профиля; $dX_{пв} = dX_{пп} = 2$ см; точечный источник упругих волн (удары молоточка по болту малого диаметра). Параметры регистрации: $dt = 2$ мкс; ФВЧ – 500 Гц; ФНЧ – 20 кГц; количество воздействий – 9. Направленность излучения и регистрации параллельно действию нагружения.

В результате моделирования получен набор временных разрезов, а также кинематических и динамических составляющих волновых полей, соответствующих выбранным параметрам нагружения. Априорный скоростной закон (3800 м/с) основан на результатах предыдущих работ по физическому моделированию [3]. Анализ волновых картин не позволяет в достаточной степени идентифицировать изменения в сейсмической записи с ростом нагрузки. Можно отметить более сложный интерференционный характер сейсмической записи в интервале исследуемого блока от линии наблюдений до отражения от нижней грани (≈ 90 мкс). В подобной ситуации решение поставленной задачи может быть найдено на основе совместного анализа амплитудных и скоростных характеристик сигнальной составляющей волновых полей.

Для этого построены зависимости интегральных оценок основных параметров регистрируемых волн от величины нагрузки (средняя амплитуда, эффективная скорость, частоты спектрального центроида, максимума спектра и ширина спектра).

С ростом нагружения происходит незначительное изменение средних амплитуд ($\approx 2\%$). Изменение находится в пределах погрешности регистрации и обработки и в приложении к оценке напряжённо-деформированного состояния массива не может выступать критерием его изменения.

Анализ различных спектральных характеристик сигнала указывает на стабильное увеличение как частоты спектрального центроида ($\approx 1,5\%$), так и максимума спектра регистрируемых колебаний ($\approx 3,5\%$). При этом с повышением частоты происходит сужение ширины спектра ($\approx 7,5\%$). Подобный характер изменения спектральных оценок свидетельствует о выпадении низкочастотной составляющей упругих колебаний с ростом нагружения образца. Данное явление, на наш взгляд, связано как с уменьшением общей пористости, так и с образованием трещин, на которых происходит интерференция волн. Зависимость частоты максимума спектра от величины нагрузки обладает большей стабильностью и может быть выбрана в качестве одного из параметров оценки напряжённо-деформированного состояния массива при проведении сейсморазведочного мониторинга.

Исходя из результатов экспериментов ультразвукового контроля процесса деформирования на сильвинитовых образцах [2] можно предположить аналогичное изменение скоростей с ростом давления и при физическом моделировании сейсморазведки МОГТ. А именно: увеличение скорости при распространении волн в направлении действия нагрузки и уменьшение в перпендикулярном. При этом, в связи с малой пористостью соляных пород, скорости прохождения ультразвуковых волн в процессе нагружения возрастают не более чем на 20%. В большей степени скорость зависит от степени дефектности образца или третинообразования [2].

Результаты скоростного анализа полученных данных указывают на их несоответствие приведенным [2] зависимостям. В нашем случае увеличение нагрузки на исследуемый образец приводит к незначительному уменьшению интегральных оценок эффективных скоростей волн по блоку ($\approx 2\%$), которые находятся в пределах ошибки определения. Данное явление можно объяснить малыми размерами исследуемого блока по отношению к базе регистрации сигнала, при которой с увеличением удаления регистрирующего канала от источника колебаний угол падения и отражения волны приближается к 45° . Распространение волн в данном случае не выдерживает требования параллельности к направлению нагружения. Поэтому на значения скоростей оказывает влияние и уплотнение образца, и увеличение его дефектности.

Для исключения влияния системы наблюдений на скоростные оценки в дальнейшем их расчет производился по выборке центральных лучей, которые удовлетворяют требованию параллельности к направлению приложения нагрузки. В этом случае зависимость изменения скорости от давления соответствует ранее полученным. С нагружением образца до определённого значения происходит увеличение скорости упругих волн ($\approx 20\%$) за счёт уплотнения, затем наблюдается их уменьшение в следствии нарушения сплошности. Наиболее резкое падение скорости происходит при достижении напряжением значения 0,7 от величины, при которой произошло полное разрушение. Это согласуется с данными [2, 4], согласно которым интенсивное развитие микродефектов, их слияние и образование макротрещин приурочено к напряжению, действующему в диапазоне $0,6 - 0,8 \sigma_{сж}$.

Представленные результаты исследований позволяют определить набор параметров волновых полей и количественно оценить величину их изменения при различной степени напряжённо-деформированного состояния массива.

Работа выполнена при поддержке фонда РФФИ (грант № 04-05-96011).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авербух А.Г. Изучение состава и свойств горных пород при сейсморазведке. М.: Недра, 1982. 232 с.
2. Асанов В.А. Геомеханическая оценка устойчивости несущих элементов камерной системы разработки соляных пород: Дис. ... д-ра техн. наук. – Пермь, 2004. – 362 с.
3. Бабкин А.И., Ахматов А.Е. Оценка возможностей метода многократных перекрытий для картирования единичного разрывного нарушения на основе физического моделирования // Стратегия и процессы освоения георесурсов: Материалы науч. сессии ГИ УрО РАН по результатам НИР в 2003 г.
4. Барях А.А., Константинова С.А, Асанов В.А. Деформирование соляных пород. Екатеринбург: УрО РАН, 1996. 202 с.

А.М. Пригара

РАЗВИТИЕ АППАРАТА КОМПЛЕКСНОГО ПАРАМЕТРА СУММАРНОГО ПОЛЯ ОТРАЖЕННЫХ ВОЛН

Расчет комплексного параметра (КП) волнового поля и анализ закономерностей его распределения в последнее время стал неотъемлемым этапом интерпретации малоглубинных сейсморазведочных данных. Внедрение комплексного параметра необходимо для оперирования не только субъективными оценками волнового поля интерпретатором, но и объективными параметрами. Наличие таких параметров дает возможность надежно, формализованно и в автоматическом режиме выделять участки записей с искомыми характеристиками. Таким образом, мы повышаем достоверность выделения именно тех аномалий, которые предположительно связаны с искомыми неоднородностями геологической среды.

Геологические задачи малоглубинных сейсморазведочных исследований зачастую сильно отличаются, кроме того, возникают и новые задачи. Поэтому при применении комплексного параметра постоянно присутствует необходимость, во-первых, в развитии и совершенствовании его аппарата и анализа результатов расчетов, и, во вторых, - в поиске новых информативных характеристик волнового поля и включении их в расчетную схему.

Что касается первой задачи, то ее решение на сегодня состоит автоматизации построения срезов комплексного параметра и в разработке алгоритма выделения значимых аномалий.

На данный момент выполнена доработка к программе-оболочке, позволяющая по результатам расчетов за несколько секунд построить срезы комплексного параметра в виде двумерной карты, с наложением на него временного разреза. Эта доработка значительно сократила длительность построения срезов и, что очень важно, длительность теоретических исследований, в ходе которых нужно выполнять выбор оптимального сочетания параметров расчета путем перебора множества всех возможных.

Разработка алгоритма выделения значимых по размерам аномалий преследовала две цели. Первая, самая важная – исключение человеческого фактора при

оценке значимости аномалий комплексного параметра исходя из их размера, формы и амплитуды. Вторая цель, решаемая попутно – сокращение времени на интерпретацию результатов путем отбраковки аномалий, не достигших порога значимости, поскольку таким способом достигается уменьшение «зашумленности» результатов расчетов, и внимание интерпретатора концентрируется лишь на значимых аномалиях.

Работа алгоритма основана на вычислении среднего значения комплексного параметра в пределах перемещающегося по срезу окна прямоугольной формы. Его пространственно-временные размеры определяются разрешающей способностью метода по соответствующим направлениям. В случае, когда среднее значение не достигает заданного порога, значение параметра в центре окна изменяется на минимальное. В случае достижения – оставляется неизменным. Длина окна по оси X (размерность в метрах) вычисляется с использованием диаметра зоны Френеля:

$$l_x = \frac{d_F}{2} = \frac{\sqrt{2h\lambda + \lambda^2 / 4}}{2},$$

где $\lambda = V/f_v$ – преобладающая длина волны; h – глубина залегания отражающей границы; V – скорость распространения сейсмической волны; f_v – ее преобладающая частота.

Длина по оси времен (размерность в мс) вычисляется исходя из видимого периода T :

$$l_t = \frac{T}{4}.$$

Поиск новых информативных характеристик волнового поля и включение их в расчетную схему выполняется путем совместного анализа имеющейся геологической и сейсморазведочной информации. По результатам экспертных оценок, кроме найденных ранее, и уже использующихся параметров волнового поля [1], выделены еще два. Установлено, что зонам трещинноватости зачастую соответствуют участки волнового поля с повышенными градиентами эффективных скоростей и сдвигами осей синфазности. В данном направлении проведены исследования, результатом которых стала разработка двух новых модулей для программы вычисления комплексного параметра, которые выполняют расчеты указанных характеристик волнового поля.

Градиент скоростей (горизонтальный) вычисляется по следующей формуле:

$$\Delta V_{i,j} = \frac{V_{i,j} - V_{i+1,j}}{dx},$$

где $V_{i,j}$ и $V_{i+1,j}$ – значения эффективных скоростей из массива, полученного по результатам скоростного анализа; dx – расстояние между соседними точками массива.

Сдвиги вычисляются на основании функции взаимной корреляции (ФВК). Для этого в каждой точке расчета КП сначала вычисляется суммотрасса на заданной базе трасс. Затем вычисляется ФВК между данной суммотрассой и следующей трассой. Величина сдвига максимума ФВК относительно центра окна и принимается за искомый сдвиг. С целью исключения неоправданно больших значений сдвигов в модуль введена возможность их ограничения. Максимальная величина сдвига выбирается исходя из видимой длины периода и не должна превышать половину его длины.

Исходя из физической сущности введенных параметров сделаны следующие выводы. Оба новых параметра желательно преобразовывать в абсолютные значения, поскольку в равной степени важны и положительный

и отрицательный экстремумы градиента, а учет обоих экстремумов одновременно потребовал бы дополнительной доработки программы-оболочки. Такое решение приводит к утере информации о знаке аномалии, но при необходимости знак можно восстановить, поэтому выбор сделан в пользу облегчения автоматизации расчетов.

Основной принцип объединения различных величин в КП – их независимость. Поэтому следующие моменты касаются ограничений на использование рассматриваемых параметров. Первое – при расчете КП нельзя совместно использовать эффективные скорости и градиенты эффективных скоростей, поскольку экстремумы соответствующих функций заведомо будут находиться в тесной взаимосвязи, а объединение таких величин в КП недопустимо. Второе – совместное использование отношения сигнал/шум и временных сдвигов возможно, несмотря на то что обе эти величины рассчитываются на основе корреляционных функций. Объясняется данное утверждение тем, что в первом случае оценивается степень схожести (когерентности) соседних трасс без учета их сдвига относительно друг друга, а во втором – как раз сдвиг трасс относительно друг друга. То есть возможна как ситуация, когда отношение сигнал/шум и сдвиг синфазны, так и когда противофазны, и, следовательно, корреляции между данными параметрами нет.

Введение дополнительных модулей привело к необходимости перебора всех возможных сочетаний параметров расчета КП для имеющихся моделей. Это позволило выбрать наиболее оптимальные из сочетаний на основе адекватности отображения имеющихся геологических неоднородностей в аномалиях комплексного параметра.

Кроме того, исследование поля сдвигов совместно со временным разрезом показало, что данное поле представляет собой самостоятельную ценность. Поскольку оно четко фиксирует области осложнения волнового поля, то его эффективно использовать в качестве способа формализованной локализации таких осложнений.

Таким образом, выполнена объемная работа по развитию аппарата комплексного параметра. Дополнения и усовершенствования позволили повысить эффективность применения КП и для практических и для теоретических исследований. Одновременно введением дополнительных модулей расширены возможности рассматриваемой методики изучения волнового поля малоглубинной сейсморазведки общей глубинной точки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пригара А.М., Байбакова Т.В. Формирование комплексного параметра сейсмического волнового поля для выявления различных геологических неоднородностей // Стратегия и процессы освоения георесурсов: Материалы науч. сессии Горного института УрО РАН по результатам НИР в 2003 г. Пермь: ГИ УрО РАН, 2004. С.171-174.

СЕЙСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗОН РАЗВИТИЯ ОПОЛЗНЕВЫХ ПРОЦЕССОВ

Основными задачами при изучении экзогенных геологических процессов, к которым относятся оползни, являются: выявление, картирование, изучение динамического режима. Оптимальным следствием этих этапов исследований является пространственно-временной прогноз. Особенно большое значение подобные исследования приобретают на территориях интенсивного хозяйственного освоения, где оползни представляют угрозу инженерным сооружениям.

Под оползнями понимается внезапный или постепенный отрыв горных пород и движение их по склону под влиянием силы тяжести. Оползнем также называют участок смещения горных пород склона, включая зоны отрыва, передвижения и накопления.

Возможность использования сейсмических методов в зонах развития оползневых процессов основана на связи сейсмических характеристик с прочностными свойствами пород и параметрами напряженного состояния. Основные закономерности изменения поля упругих колебаний при развитии оползневых процессов сводятся к следующему [3]:

1. Максимальные изменения скоростей волн происходят вдоль оси оползня, минимальные – поперек склона, что выражается в анизотропии упругих свойств пород в пределах оползневого склона.

2. Активизации оползневых смещений всегда предшествует изменение параметров поля упругих колебаний, связанное с изменением устойчивости оползневого склона.

3. Наибольший диапазон изменений сейсмических характеристик наблюдается вблизи границ нарушения сплошности среды.

4. Моменту нарушения сплошности среды соответствуют минимальные значения скоростей упругих волн, что объясняется максимальными растягивающими деформациями.

Наличие подобных закономерностей позволяет применять для изучения зон оползневых процессов современные технологии инженерной сейсморазведки, основанные на методике общей глубинной точки (МОГТ). Такие технологии обеспечивают достоверную интерпретацию не только в простых случаях, когда поверхность смещения приурочена к литологическому контакту (коренные скальные породы - рыхлые четвертичные отложения), но и если поверхность смещения приурочена к однородным неслоистым породам или пересекает слои пород различного состава.

Опыт подобных исследований получен нами при изучении склона проектируемого под горнолыжные трассы в одном из районов республики Удмуртия. Задача исследований заключалась в локализации предполагаемого, по данным инженерной геологии, оползневого тела и оценки особенностей его строения.

Исследования выполнены по сети профилей, которая состояла из одного «регионального» профиля протяженностью 320 м, пройденного вдоль продольной оси склона, и 6 поперечных.

Основным результатом этапа интерпретации сейсморазведочных исследований при изучении зон развития оползневых процессов является их пространственный прогноз. Интерпретационные выводы базируются как на качественном анализе зарегистрированной волновой картины, так и на изучении ее количест-

венных параметров. По особенностям поведения параметров волнового в пределах всего участка исследований отчетливо выделяются две зоны с характерными признаками оползневых процессов.

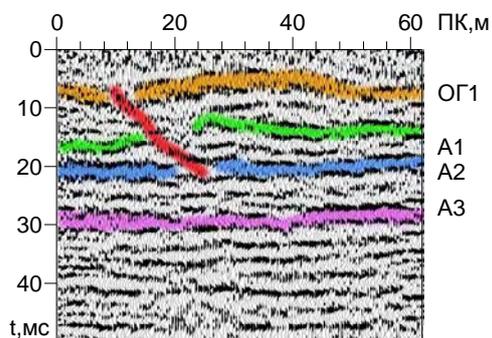


Рис.1. Временной разрез МОГТ. Зона первого типа – формирование линии отрыва оползня

нам повышенной трещиноватости (растягивающие деформации), а наличие положительного градиента скоростных значений после ее пересечения может быть связано с наличием повышенных напряжений в массиве (сжатие). Наличие таких зон вдоль оси тела формирующегося оползня известно по литературным данным [2]. Отмеченные низкоскоростные полосы могут означать начало формирования будущих плоскостей скольжения.

Особенности второй зоны рассмотрим на фрагменте временного разреза «регионального» профиля (рис. 2). Данная зона (ПК170 - ПК280) выделяется по пониженным значениям скоростной характеристики и интенсивности сейсмической записи в интервале ОГ1-А1 на участке от ПК175 м до ПК245 м. Здесь также

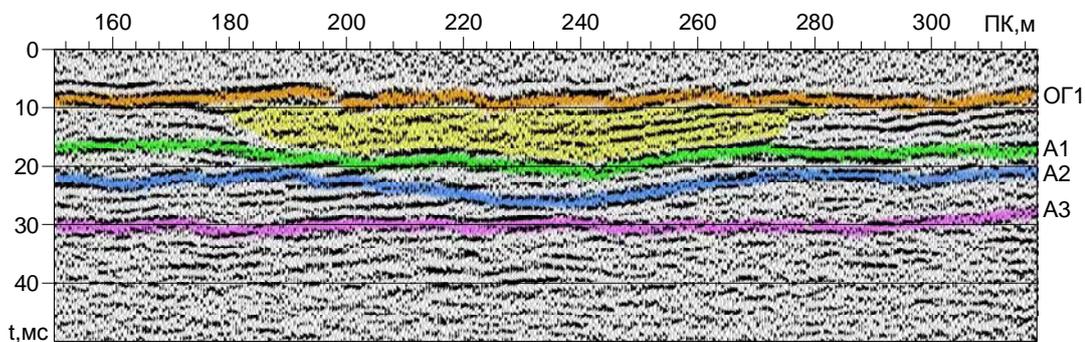


Рис. 2. Фрагмент временного разреза ОГТ. Зона второго типа – ранее сошедший оползень

отсутствуют дополнительные отражающие границы. Правая часть данной зоны выклинивается к ПК275.

Подобной характер сейсмической записи говорит о наличии здесь рыхлой разуплотненной толщи, накладывающейся в ее конечной части на более плотные четвертичные отложения. Данное геологическое строение может быть обусловлено наличием здесь тела оползня, произошедшего после формирования перекрытых им четвертичных отложений.

Количественная оценка представленных закономерностей возможна на основе построения скоростных разрезов. Их анализ показал, что для профильных линий, пересекающих предполагаемую будущую линию отрыва, отмечается от-

Пример временного разреза, характерного для первой зоны, приведен на рис.1. В ее пределах в верхней части склона (трассы) на волновых картинах проявляются субвертикальные наклонные полосы, идущие вкост общему простиранию отражающих границ. Эти полосы выделяются и по затуханию сейсмических колебаний, и по пониженным значениям скоростей распространения волн. На скоростных характеристиках сразу после данных полос отмечаются участки повышенных значений скоростей.

Наличие подобных ослабленных зон нельзя объяснить простой литологической изменчивостью. Поведение сейсмических параметров в их пределах свойственно зо-

носителем повышенный уровень скоростной изменчивости (до 50-70 м/с), особенно на участках пересечения данной границы. В пределах второй зоны интервал ОГ1-А1 характеризуется относительно низкими значениями скоростей распространения упругих волн. Падение составляет 50-60 м/с. Подобный уровень скоростных свойств отмечается и на всех профилях, предположительно пересекающих тело ранее сошедшего оползня.

Наиболее достоверный пространственный прогноз возможен за счет построения площадных распределений упругих характеристик и структурных схем изучаемых отложений. В пределах *первой зоны* максимальное падение до 50 м/с наблюдается в интервале 4-8 м (ОГ1-А1). Подобные изменения скоростных свойств с учетом поведения динамических характеристик могут соответствовать падению прочностных свойств в 1,3-1,4 раза. Наиболее четко области максимальных скоростных изменений проявляются на схеме градиента интервальной скорости в отложениях, перекрывающих твердое основание. Преобладающее направление изменений перпендикулярно оси проектируемой трассы. Подобная скоростная изменчивость обычно наблюдается на формирующихся оползнях [3], где изменения упругих свойств характеризуются выраженной анизотропией.

В пределах *второй зоны* падение скоростей достигает 50 м/с, что также возможно связано с ухудшением прочностных свойств в 1,3-1,4 раза. Здесь же наблюдается локальное повышение для данной части площади исследований скоростной изменчивости, обусловленное присутствием низкоскоростного тела, предполагаемого древнего оползня. Направление изменчивости совпадает с направлением оси проектируемой трассы. Состояние твердого основания здесь также более стабильно, чем в верхней части площади исследований, что подтверждается бурением.

Косвенным подтверждением возможности развития оползневых процессов, является оценка угла твердого основания, которая возможна по его структурной схеме. В направлении максимального изменения упругих свойств угол составляет 15 градусов, т.е. попадает в диапазон углов 8-30 градусов, способствующих возникновению оползневых процессов [4].

В целях получения информации о скорости развития оползневого процесса и оценки времени его реализации необходима система мониторинговых исследований, включающая:

- режимные геофизические измерения упругих и фильтрационных параметров в области его формирования;
- геоморфологические наблюдения за развитием поверхностных форм рельефа, связанных с его развитием (трещины отрыва, промоины, овраги);
- гидрогеологические наблюдения за колебаниями уровня грунтовых вод на его среднем и нижних уровнях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мешбей В.И. Методика многократных перекрытий в сейсморазведке. М.: Недра, 1985.
2. Огильви А.А. Основы инженерной геофизики. М.: Недра, 1990.
3. Применение сейсмоакустических методов в гидрогеологии и инженерной геологии / Под ред. Н.Н. Горяинова. М.: Недра, 1992.
4. Справочник по инженерной геологии // Под ред. М.В. Чуринова. М.: Недра, 1968.
5. Санфиоров И.А., Ярославцев А.Г. Применение методик многократных перекрытий при решении инженерно-геологических задач // 300 лет горно-геологической службе России: Тезисы докладов Международной геофизической конф. СПб, 2000.

ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН ПРИ РЕШЕНИИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ В ТРЕЩИНОВАТЫХ СРЕДАХ

Одной из основных геологических задач исследования сейсморазведки может быть поиск трещиноватых зон. При этом ожидается, что для трещиноватых зон разной внутренней структуры поисковые признаки должны различаться, и прежде всего в динамических характеристиках сейсмоволн как в наиболее чувствительных к изменению геологической составляющей регистрируемого сигнала. Понятно, что данная задача сейсморазведки является не простой в силу многофакторного геологического влияния на данные параметры, а также их менее устойчивой характеристики, в отличие кинематических параметров, к условиям приема и обработки сигнала. Однако богатое разнообразие динамических параметров, каждый из которых несет информацию об особенностях среды, их тонкая реакция на отклик среды, а также бурно появляющиеся новые способы и методы, направленные на сохранение истинности их значений в процессе обработки полевого материала, является в последние годы все более и более привлекательными для интерпретатора. Так как в общем случае обратная задача сейсморазведки математически не корректна, большинство интерпретационных методов использует эмпирически найденные зависимости «сейсмические параметры – физические свойства реальной среды». Имеющийся в лаборатории АСА опыт, полученный на основе применения малоглубинной сейсморазведки МОГТ [3], выдвигает задачу - проанализировать интерпретационные возможности сейсморазведки.

На основании интерпретации результатов теоретического моделирования сейсмических волновых полей, рассчитанных по способу [2], исследований реальных сейсморазведочных данных, выполненных по методике [3], изучения распространения упругих волн на физической модели, когда на образце галогенных пород имитировалась полевая система малоглубинной сейсморазведки [1, 3], установлены признаки трещиноватых зон в динамических характеристиках. При этом различия в них позволяют производить распознавание зон, различающихся внутренней структурой.

1. Признаки протяженных (не менее длины волны) трещин в амплитудных параметрах [5, 6]:

- область как вертикальной, так и наклонной трещины, пересекающей ОГ, отмечается экстремальным значением средних амплитуд данного ОГ;

- высокие абсолютные значения градиента средних амплитуд ОГ в области трещины;

- на верхнем конце трещины - экстремальные (минимум) значения средних амплитуд ОГ отличаются в 2 и более раз;

- на ОГ под наклонной трещиной значения средних амплитуд стремятся к нулю на участке длиной, равной проекции трещины на границу; образуется участок «тени»;

- участок «тени» под вертикальной трещиной трансформируется в экстремум приближающихся к 0 средних амплитуд непосредственно в области трещины на ОГ;

- в поле временного разреза отраженная от наклонной трещины волна - как аномально высокие абсолютные значения градиента по времени средних амплитуд.

2. Признаки протяженных трещин в спектральных параметрах [5, 6]:

- понижение спектрального состава колебаний на участках проекции трещины на дневную поверхность (происходит рассеяние высоких частот упругих колебаний, активная полоса смещается в область низких частот, соответственно, смещается частотная координата центра);

- уменьшение частоты максимума спектра в области проекции трещины на дневную поверхность;

- для вертикальных трещин уменьшение частоты максимума спектра происходит на пикетах;

- резкое скачкообразное возрастание-уменьшение амплитуд спектров при пересечении профилем вертикальной трещины с расстоянием от трещины; происходит монотонное выравнивание амплитуд спектров;

- для наклонных трещин резко отличаются амплитуды спектров по обе стороны от трещин; изменение обусловлено интерференционными явлениями между отраженными от ОГ и поверхности трещины волнами;

- горизонтальные размеры аномалии максимальных значений разности энергетических спектров, рассчитанных в интервалах, не содержащих и содержащих трещину, совпадают с длиной проекции наклонной трещины на границы интервала. Частоты сейсмических волн, соответствующие данным аномалиям, понижаются в зависимости от увеличения проекции трещины. Следовательно, происходит рассеяние волн, длина которых соизмерима с размерами проекции трещины.

В зависимости от качества сейсмического материала изложенные амплитудные признаки трещины ослабевают по мере распространения трещины вниз по разрезу [5]. При наложении на теоретические сейсмограммы «случайного шума» основные особенности амплитудных характеристик сохраняются для верхней части трещины. Распространение ее можно проследить сверху вниз на 75% для «с/ш=4», на 25% для «с/ш=2». На нижних горизонтах экстремальные значения средних амплитуд в области трещины не превосходят двойного среднеквадратического отклонения средних по горизонту амплитуд. Это не позволяет правомерно отождествлять данные экстремумы с наличием трещины в данной области разреза. Однако верхний конец трещины определяется для всех значений «с/ш» как экстремум - минимум, значения которого превосходят средние значения амплитуд отражающего горизонта и их погрешности более чем в 2 раза. В ситуации трещин, соизмеримых лишь с одной длиной волны, для задачи определения длины трещины проведен послойный анализ спектральных параметров, рассчитанных для «с/ш» не более 4. Результаты свидетельствуют о возможности выделения зоны развития трещины. В спектральных параметрах, рассчитанных в интервале вдоль профиля, область трещины проявляется как отрицательные аномалии частотной координаты центра и граничных частот.

Изложенные признаки как для наклонных, так и вертикальных протяженных трещин изначально были установлены по результатам сейсмомоделирования для условий малоглубинной сейсморазведки ОГТ в соляных породах. Безусловно, особый интерес вызывает проверка выводов для реальных пород в условиях как естественного залегания, так и лабораторных. Причем, для различных типов пород, так как непосредственный простой перенос выводов, полученных для одного класса пород, на другие, всегда в экспериментальной науке считается некорректным. Указанные группы признаков получены для галогенных пород, в терригенно-карбонатном разрезе, в гранитном комплексе пород фундамента, когда зона разрывного нарушения не осложнена зоной дробления, либо протяженные трещины имеют преобладающее направление.

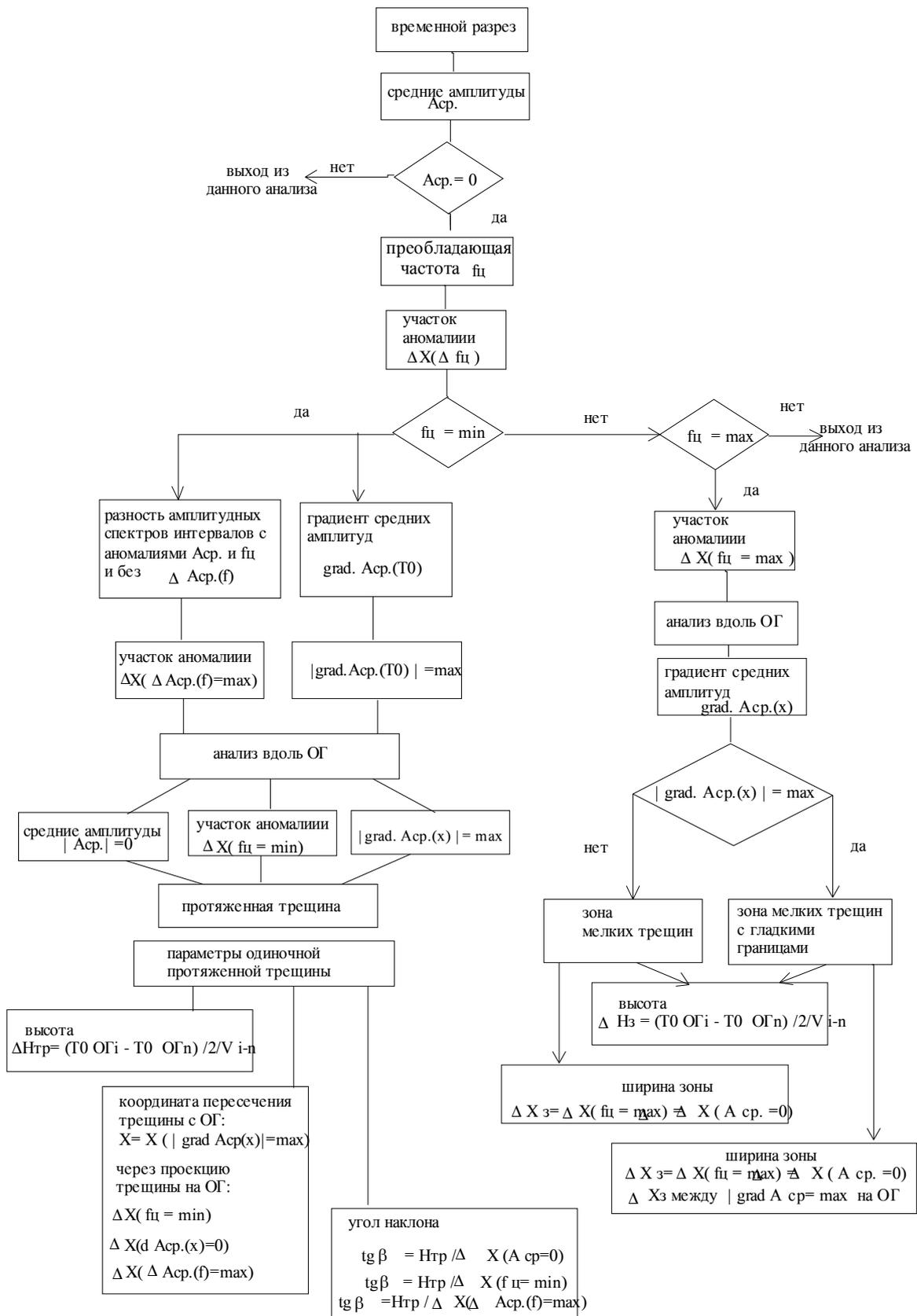


Рис.1. Схема динамического анализа

Принимались во внимание и, следовательно, засчитывались с хорошей степенью вероятности лишь аномалии параметров, значения которых для интервала, непосредственно содержащего трещину, ее начало и конец, отличаются от среднего по интервалу на величину, превышающую двойное среднеквадратическое отклонение. Таким образом, сужая окно расчета параметров с учетом их устойчивости, по максимальному проявлению аномалий можно определить глубину начала и конца трещины. Горизонтальные размеры аномалии соответствуют проекции наклонной трещины на границу интервала исследования. Другими словами, оценить параметры трещины (протяженность, угол наклона) возможно по вертикальным размерам интервала, содержащего трещину, и горизонтальным размерам аномалий ряда параметров. Вертикальные размеры зоны протяженных трещин оцениваем путем послойного анализа амплитудных и спектральных характеристик и выделения интервала максимальных аномалий. Проекцию трещины – по горизонтальным размерам аномалий частотных координат центроида, граничных частот, повышенного уровня рассеянной сейсмической энергии, по длине участка нулевых значений средних амплитуд.

Наравне с различными видами моделирования представляется возможным изучение экспериментального сейсмического материала в зонах с априорно предполагаемой трещиноватостью. В пределах, выделенных в соляной и вышележащей карбонатной толщах, подобных участков установлены признаки для зон развития мелких (менее разрешающей способности метода) разноориентированных трещин [4, 5]:

- нулевые (близкие к нулевым) значения осредненных в окне амплитуд;

- не наблюдаются характерные для протяженных наклонных трещин абсолютные максимальные значения с наклонной осью, типа оси синфазности, подобные тем, что присутствуют в области протяженных наклонных трещин

- на разрезах спектральной характеристики – частотная координата центроида, наблюдается не понижение значений частоты, характерное для протяженных трещин, а их повышение;

- в благоприятных условиях - градиент средних амплитуд вдоль отражающих горизонтов, отображающий «гладкие» боковые стенки зоны.

Данные особенности динамических параметров выявлены и по моделям, содержащим систему мелких горизонтальных трещин как в отдельных пластах, так и в группе пластов. Рисунок сейсмозаписи в зоне трещиноватости меняется в зависимости от соотношения ширины, длины трещин, расстояния между ними и пределов разрешенности сейсмической записи. В моделях, где размеры зоны превышают эти пределы, а параметры отдельных мелких трещин существенно меньше их, указанные характерные закономерности изменчивости амплитудных и спектральных параметров наблюдаются устойчиво. Несмотря на простоту моделей можно в качестве признаков подобных зон принять повышение частотной координаты центроида сейсмозаписи внутри зоны и нулевые значения осредненных в окне амплитуд. Увеличение преобладающей частоты записи и уменьшение средних амплитуд обнаружилось и при физическом моделировании, когда в блоке породы были осуществлены два разрывных непротяженных нарушения под некоторым углом друг к другу, длина которых меньше длины волны сигнала. Верхние концы трещин, как и на теоретическом моделиро-

вании, отмечаются отрицательными аномалиями. Область зоны обоих дизъюнктивов проявляется повышением частоты центроида, исключая, верхние концы нарушений (как на теоретических моделях одиночной трещины). На реальных сейсмоматериалах в зонах с априори известной мелкой, разноориентированной трещиноватостью данные признаки проявляются в интервалах карбонатного палеокарста, а также на территории современных карстующихся пород.

Выполненные исследования позволяют выстроить принципиальную последовательность, схему интерпретации выявленных идентификационных динамических параметров (рис.1). Заложив ее как основу, можно представить методику картирования зон трещин по совокупности параметров. Данная методика опробована на месторождении углеводородов в районе Передовых складок Урала. Действиями, выполненными в соответствии с показанной схемой, установлена совокупность аномалий динамических параметров, характеризующих зону развития мелких трещин, в турнейско-фаменских карбонатных отложениях. Данную зону вскрыла скважина, в которой из данных пород получены промышленные притоки легкой нефти и газа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабкин А. И., Ахматов А. Е. Оценка возможностей метода многократных перекрытий для картирования единичного разрывного нарушения на основе физического моделирования // Стратегия и процессы освоения георесурсов: Сборник докладов. Пермь: Горный институт УрО РАН, 2004.
2. Пригара А. М. Программно-алгоритмическое обеспечение решения прямых задач малоглубинной сейсморазведки / Геофизические методы поисков и разведки месторождений нефти и газа: Межвуз. сб. науч. тр. / Пермский ун-т. – Пермь, 1999. С. 37-42.
3. Санфиоров И. А. Рудничные задачи сейсморазведки МОГТ. Екатеринбург: УрО РАН, 1999.
4. Семерикова И.И. Динамические параметры экспериментальных сейсмических данных для разбраковки геологических трещинных объектов по внутренней структуре. // Тезисы докладов науч.-практ. конф. «Геомодель – 2004». Геленджик, 12-18 сент. 2004 г. - С. 65-68.
5. Семерикова И.И. Отображение протяженных трещин в динамических характеристиках упругих волн // Тезисы докладов науч.-практ. конф. «Геомодель – 2001». Геленджик, 24-28 сент. 2001 г. - С. 47-49.
6. Семерикова И.И. Оценка параметров зон развития трещин по данным сейсморазведки // Проблемы комплексного мониторинга на месторождениях полезных ископаемых: Сборник докладов. Пермь: Горный институт УрО РАН, 2002. - С. 90- 95.

К.Б. Фаткин

ВОЗМОЖНОСТИ ДИНАМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ МАЛОГЛУБИННОЙ И ИНЖЕНЕРНОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ

Развитие сейсмических методов разведки применительно к решению новых структурных задач в условиях более сложных типов сред (слабодифференцированных по скоростям, тонкослоистых и др.) обусловило необходимость привлечения к интерпретации наряду с кинематическими, также, и динамических характеристик сейсмических волн.

Динамические характеристики в малоуглубинной сейсмозазведке. Методика обработки и интерпретации первичных материалов, получаемых в малоуглубинной сейсмозазведке МОГТ, в целом определяется общими принципами традиционной взрывной сейсмозазведки. Так, амплитуды смещений сферической отраженной волны в случае горизонтальной границы раздела двух сред с постоянными плотностями и скоростями зависят от направленности источника, от величин коэффициентов отражения от основной границы и от дневной поверхности, от расхождения энергии с расстоянием за счет кривизны фронта волны и от поглощения энергии в среде. Однако, некоторые специфические особенности, связанные с маломощным невзрывным источником и небольшой глубиной изучаемого интервала, приводят к необходимости использования своих, отличных от традиционной сейсмозазведки, элементов методики изучения динамических характеристик. Таким образом динамический анализ в малоуглубинной сейсмозазведке включает изучение амплитуд волн (AVO-анализ), а так же спектральных характеристик.

Как показывает ряд авторов [1,2,3], AVO-анализ обеспечивает нас информацией о латеральных изменениях типа порового флюида, которые важны сами по себе и могут быть связаны с латеральными вариациями степени трещиноватости; степени анизотропии, возможно связанной с однообразно ориентированной трещиноватостью; распределении истинной (интервальной) скорости S-волн, необходимой для оценки напряженного состояния среды.

Все эти данные являются актуальными и при решении задач соляной сейсмозазведки. В нашей лаборатории ведется работа по применению AVO-анализа сейсмических данных для выявления локальных скоростных и плотностных неоднородностей в надсоляной и соляной толщах. Как известно, они представляют опасность при их подработке в условиях соляного разреза Верхнекамского месторождения.

В отличие от нефтяной сейсмоки, где масштаб изучения геологического разреза на порядок больше, в малоуглубинной сейсмозазведке, получение полезной информации путем изучения изменения амплитуд отраженных волн с удалением имеет свои специфические особенности. Получаемые нами данные имеют кратность 24; максимальное удаление приемной расстановки равно, соответственно, 384 м.

Амплитудные характеристики. Незначительные расстояния, которые преодолевают упругие волны, накладывают определенные трудности для применения AVO-анализа, и являются отличительной особенностью, характеризующей малоуглубинные сейсмозазведочные исследования и.

Двойной путь пробега отраженных волн не превышает 500-600м. Поэтому их амплитуда зависит, в основном, от перепада акустической жесткости на отражающих и преломляющих границах.

$$A_{i+1} = A_i \sqrt{\frac{\rho_i V_i ds_i}{\rho_{i+1} V_{i+1} ds_{i+1}}} = \frac{A_i}{L} \sqrt{\frac{\rho_i V_i}{\rho_{i+1} V_{i+1}}} \quad (1)$$

где, A – амплитуда волны, $\rho_i V_i$ - акустическая жесткость в i -ом слое, L – полное геометрическое расхождение.

Это соотношение справедливо и для импульсных колебаний, если их форма не меняется в процессе распространения. При наличии скачкообразных изменений акустической жесткости вдоль луча помимо указанных факторов на амплитуду колебаний оказывают влияние эффекты образования отраженных и объемных волн. В общем случае коэффициенты отражения и преломления зависят от угла падения волны, подходящей к границе, и от четырех параметров, характеризующих свойства контактирующих сред: отношение скоростей V_{p1}/V_{p2} , V_{p1}/V_{s1} , V_{p2}/V_{s2} и отношение плотностей сред ρ_1/ρ_2 .

При наклонном падении волны на границу раздела из среды с меньшей скоростью V_p коэффициенты отражения представляют собой действительные числа при углах падения, не превышающих критический угол, то есть при выполнении неравенства:

$$\sin \alpha_{p1} < V_{p1}/V_{p2} \quad (2)$$

Это означает, что только в этом диапазоне углов форма всех возникающих волн соответствует форме падающей волны. При углах падения, больших критического, коэффициенты становятся комплексными числами. Для отраженных волн это означает наличие сдвига фаз при отражении. Величина сдвига зависит от величины угла падения, и не зависит от частоты колебаний.

При критических углах падения комплексными являются так же и коэффициенты преломления. Это означает, что преломленных волн, уходящих от границы в среду с большей скоростью, не существует. Таким образом, по энергии за критическое отражение является полным [6].

В случае малоглубинной сейсморазведки используются системы наблюдения с относительно короткой базой, обычно с максимальным удалением источник-приемник не более 200 м. Расчеты показывают, что максимальный угол падения лучей на глубине 200 м при таком удалении составляет не более 25° . При обычном для такой глубины перепаде скоростей с 3600 до 4000 м/с неравенство (2) остается справедливым: $\sin(25^\circ) < (3600/4000)$. Это означает, что для стандартных малоглубинных работ в указанном районе, при расчете теоретических волновых полей, практически отпадает иметь дело со сдвигом фаз и комплексными числами.

Использование динамических характеристик сейсмических записей для оценки прочностных характеристик массивов горных пород. В рамках системы интерпретации возможно решение задачи выявления участков наиболее аномального строения породного массива и оценки степени его нарушенности. Показателем, позволяющим оценить и обосновать уровень необходимого ослабления прочностных свойств массива горных пород в зависимости от особенностей волнового поля при геомеханических расче-

тах по данным малоуглубинной сейсморазведки является *комплексный параметр* [4].

Схема получения графиков и срезов комплексного параметра основана на совместном использовании независимых количественных характеристик волнового поля. Таких характеристик на данный момент выделено четыре – частота спектрального центра, отношение сигнал/помеха, интервальные либо эффективные скорости и амплитуда колебаний.

Функции, описывающие поведение указанных характеристик вдоль профиля, преобразуются в промежуточные. Промежуточной функции присваивается нулевое значение, если на данном пикете исходная функция не выходит за доверительный интервал, и единица – если выходит. Комплексный параметр представляет собой сумму промежуточных результатов, нормированную к заданному значению.

Эксперименты, проведенные на модельных данных, показали, что графики комплексных параметров, рассчитанные для определенного временного интервала, четко локализируют области осложнения волнового поля, соответствующие областям нарушения породного массива. Величина параметра может использоваться как коэффициент ослабления прочностных свойств породного массива при геомеханических расчетах.

Построение кросс-плотов AVO-атрибутов и графиков зависимости коэффициента отражения от угла падения по синтетическим сейсмическим данным предоставляет ключ к пониманию отражения эффектов газифлюидового замещения на взаимодействии AVO-атрибутов. При решении задач по нахождению карстовых зон, либо зон разуплотнения в реальных условиях, а так же зон трещиноватости, знание подобных зависимостей облегчает интерпретацию сейсмического материала и позволяет сделать выводы о наличии подобных зон.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ампилов Ю.П. Сейсмическая интерпретация: опыт и проблемы. М., «Геоинформмарк», 2004
2. Бусыгин И.Н. AVO-анализ и сейсмическая инверсия. // Геофизика №5, 2003, с 13-18
3. Воскресенский Ю.Н. Изучение изменений амплитуд сейсмических отражений для поисков и разведки залежей углеводородов // Учебное пособие для вузов. –М.:РГУ нефти и газа, 2001
4. Пригара А.М. Прогноз строения и свойств горного массива на основе сейсмо моделирования // Автореферат на соискание ученой степени к.т.н. Пермь, 2003
5. Фаткин К. Б. Оценка возможности AVO-анализа для изучения строения и свойств соляной толщи // Материалы международной конференции «Моделирование стратегии и процессов освоения георесурсов» ГИ УрО РАН, Пермь, 2003
6. Физические свойства горных пород // Справочник геофизика. М.: «Недра», 1976

ИЕРАРХИЯ И РАНЖИРОВАНИЕ ЗАДАЧ, СТАВЯЩИХСЯ ПЕРЕД ГЕОФИЗИЧЕСКИМ КОМПЛЕКСОМ НА ЭТАПЕ РАЗРАБОТКИ ВКМС

Данная работа выполнена в рамках решения проблемы определения методических основ геофизического комплексирования на этапе разработки Верхнекамского месторождения солей (ВКМС). Ранее выполнен анализ геофизической изученности территории месторождения [1], достоверности геофизической информации [2]. Объективная оценка возможностей методов в условиях месторождения возможна только при определении их соответствия задачам, возникающим при разработке месторождения. Для этого прежде всего требуется определить собственно эти задачи.

При формулировке технического задания на производство геофизических исследований цель работ чаще всего определяется как «изучение строения и состояния горного массива». Что же конкретно интересует заказчика геофизической информации в рамках этого понятия? Изучение каких интервалов разреза и выделение каких объектов? Какие задачи являются первоочередными?

Рассматривается два основных направления работ:

- обеспечение безопасной и рациональной отработки калийной залежи;
- инженерно-геологическое обеспечение калийного производства.

Обеспечение безопасной и рациональной отработки калийной залежи - это основная цель геологоразведочных и в том числе геофизических работ на месторождении. Под инженерно-геологическим обеспечением подразумевается изучение геологических процессов в верхней части разреза, влияющих на сохранность зданий и техногенных объектов, и процессов, происходящих в самих объектах. Для достижения этих целей требуется решение ряда геологических, гидрогеологических и прочих задач.

Кроме составления иерархии задач, требуется также ранжирование их по степени важности. Ни один специалист не в состоянии корректно оценить весь спектр задач, поэтому возникла необходимость применения экспертных методов. Подобный подход часто не заменим при необходимости количественного выражения трудноформализуемых объектов исследования [4]. Например, экспертные методы применялись и при создании методических основ кадастровой оценки земли, выделенной для добычи полезных ископаемых [3].

На первом этапе определен перечень стандартных задач, стоящих перед методами геофизики при разработке Верхнекамского месторождения солей. Он получен на основе консультаций с основными заказчиками геофизической информации - ведущими научными и производственными специалистами, имеющими значительный опыт работы на ВКМС. Перечень представлен в виде иерархий (отдельно по направлениям работ), в которых задачи объединены в группы по принадлежности к определённым интервалам разреза и по видам поисковых объектов и изучаемых свойств.

Задачи обеспечения безопасной и рациональной отработки калийной залежи:

1. Задачи изучения строения и состояния соляной толщи:

1.1. Структурные задачи:

- Построение кровли обрабатываемых пластов;
- Построение кровли водозащитной толщи (ВЗТ).

1.2. Литолого-стратиграфические задачи:

Установление литолого-стратиграфических границ, положения маркирующих горизонтов:

- в разрезе нижней каменной соли (НКС);
- в разрезе подстилающей каменной соли (ПдКС);
- в разрезе сильвинитовой зоны (СЗ);
- в разрезе сильвинит-карналлитовой зоны (СКЗ);
- в разрезе покровной каменной соли (ПКС);

Оконтуривание зон замещения.

1.3. Тектонические задачи:

Выявление трещинных зон и разрывных дислокаций;

Выявление складчатых дислокаций;

Выявление участков динамических разновидностей каменной соли в ВЗТ2 и ВЗТ3;

Изучение природной сейсмичности.

1.4. Горные задачи:

Оценка состояния межкамерных, гидроизолирующих и др. целиков;

Контроль изменения физических свойств среды над выработанным пространством;

Параметрическое обеспечение геомеханических расчётов;

Изучение техногенной сейсмичности.

1.5. Гидрогеологические задачи:

Выявление мест скопления постседиментационных рассолов и определение их объёма;

Определение объёма скопления конденсационных и закладочных рассолов.

1.6. Выявление газонасыщенных зон

2. Задачи изучения строения и состояния надсоляной толщи:

2.1. Литолого-стратиграфические задачи:

Установление литолого-стратиграфических границ, положения маркирующих горизонтов:

- в разрезе соляно-мергельной толщи (СМТ);
- в разрезе терригенно-карбонатной толщи (ТКТ);
- в разрезе пёстроцветной толщи (ПЦТ).

2.2. Гидрогеологические задачи:

Установление вертикальной гидрохимической зональности;

Выявление водоносных горизонтов и оценка их гидродинамических характеристик;

Выявление и контроль ореолов засоления подземных вод в районе шламохранилищ и солеотвалов (по площади и разрезу).

2.3. Тектонические задачи:

Выявление зон повышенной трещиноватости в надсоляной толще.

Задачи инженерно-геологического обеспечения калийного производства:

1. Изучение верхней части разреза:

Изучение строения и свойств верхней части разреза перед строительством и в процессе эксплуатации зданий и сооружений;

Определение уровня грунтовых вод.

2. Изучение техногенных объектов:

Определение состояния гидротехнических сооружений;

Определение состояния солеотвалов;

Выявление полостей в закрепном пространстве вокруг шахтных стволов.

Далее представленные в перечне задачи ранжируются по степени важности с

присвоением весовых коэффициентов на основе метода анализа иерархий (МАИ) [4]. В МАИ задачи сравниваются попарно, независимо друг от друга по специально разработанной экспертной анкете. Кроме того, данный метод предоставляет возможность оценки качества работы эксперта по индексу согласованности.

Полученные таким образом «веса» задач, ставящихся перед геофизическими работами на этапе разработки ВКМС, будут использованы при технико-экономическом обосновании состава геофизического комплекса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глебов С.В. Анализ геофизической изученности Верхнекамского месторождения солей // Проблемы комплексного мониторинга на месторождениях полезных ископаемых: Материалы науч. сессии Горного института УрО РАН. – Пермь, 2002. - С. 101-104.

2. Глебов С.В. Анализ достоверности геофизических исследований северной части Быгельско-Троицкого участка ВКМС // Моделирование стратегии и процессов освоения георесурсов: Материалы международной науч.-практической конф. и науч. сессии Горного института УрО РАН. – Пермь, 2003. - С. 159-163.

3. Методические основы кадастровой оценки земли, выделенной для добычи полезных ископаемых / А.Е. Красноштейн и др. - Пермь: ГИ УрО РАН, 2001.

4. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. - М.: Радио и Связь, 1993.

М.М. Калашникова

СЕЙСМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФОРМ КАРСТОГЕННОЙ НАРУШЕННОСТИ

Изучение закарстованности территорий, оценка степени ее устойчивости для возводимых сооружений является одной из актуальных проблем инженерно-геологических исследований. Повышение эффективности инженерно-геологических исследований на закарстованных территориях в значительной мере обусловлено комплексированием геологических и современных геофизических методов, обеспечивающих более полное, детальное, объемное и достоверное изучение геологической среды в ее естественном состоянии. Одним из наиболее информативных методов является сейсморазведка МОВ МОГТ.

С целью обоснования результатов геологической интерпретации сейсморазведочных данных используется расчет синтетических волновых полей.

Физические модели для расчета синтетических и теоретических сейсмограмм определяют по данным инженерно-геологического бурения с учетом результатов полевой сейсморазведки.

Представлены модели трех типов карстогенной нарушенности, которые отражают различные стадии ее развития. Первый тип описывает начальную стадию формирования карстогенной нарушенности - появление полости. Второй тип характеризует её дальнейшее развитие, когда за счет растворения вмещающих пород полость в карстующихся отложениях заполняется, но еще сохраняется устойчивость перекрывающих отложений. Третий тип отражает конечную стадию растворения пород с реализованным обрушением вышележащих отложений в область растворения [1].

Модель 1. Отражающие границы модели заданы по данным инженерно-геологического бурения. Первый отражающий горизонт (ОГ) приурочен к подош-

ве суглинков на глубинах 5-8 м. Суглинок темно-серый от тугопластичного до текучепластичного, встречаются линзы торфа. Скорость распространения упругих волн для данного интервала выбрана 1350 м/с. Ниже по разрезу залегают глины и пластичная иловатая супесь ($V_{\text{инт}}=1500$ м/с), граничащие с гравийно-галечниковыми отложениями ($V_{\text{инт}}=1700$ м/с), кровля которых находится на глубине 11-15 м и является вторым ОГ. Третий ОГ приурочен к кровле крупнообломочных обвального-карстовых отложений ($V_{\text{инт}}=2200$ м/с) на глубине 16-22 м, представленных дресвой, щебнем известняка и доломита, в качестве заполнителя – глина, суглинок (около 60-70%), супесь. Местами в разрезе встречается известняк сильнотрещиноватый с прослойками известковистой глины. На глубинах 22-30 м вскрывается гипсо-ангидритовая толща ($V_{\text{инт}}=1900$ м/с) с прослоями доломита, с кровлей которой связан четвертый ОГ. По данным бурения, в этой толще на глубинах 29.5 и 43.3 метра вскрыты две карстовые полости мощностью 3.5 и 1.2 метра соответственно, скорость упругих волн для которых – 1200 м/с. Между данными полостями располагаются ещё два ОГ, приуроченных к прослоям доломитов, которые характеризуются значением скорости - 2200 м/с. Последним в модели является ОГ, приуроченный к кровле прочных доломитов ($V_{\text{инт}}=2400$ м/с) на глубине 45-50 м.

Скоростная характеристика модели подобрана в соответствии с практическими оценками эффективных и интервальных скоростей.

Моделирование проведено при помощи программы Fmodel, в которой при расчёте синтетических сейсмограмм используется лучевое приближение [2]. Основные параметры моделирования (применяемая система наблюдений, частота и тип импульса) выбраны в соответствии с данными реальных инженерных сейсмо-разведочных исследований.

Система наблюдений: 32-х канальная центральная; $\Delta X_{\text{ПВ}}=\Delta X_{\text{ПП}}=2$ м; $L_{\text{min}}=2$ м; $L_{\text{max}}=30$ м; шаг дискретизации – 200 мкс; длина записи – 200 мс.

Тип импульса: затухающая синусоида; частота – 500 Гц; длина импульса – 6 мс; фазовый сдвиг – 0.

Конечным результатом моделирования являются синтетические сейсмограммы, по которым проведены процедуры цифровой обработки и суммирование во временной разрез ОГТ.

На теоретическом временном разрезе в интервале гипсоангидритовой толщи в пределах пикетов 42-65 м наблюдается более сложный интерференционный вид волновой картины с нарушением регулярности записи. Отражённые сигналы, соответствующие положению карстовых образований, имеют измененную форму, частоту и амплитуду по сравнению с ненарушенными участками разреза. На границах модельных карстовых полостей появляются дополнительные отражающие элементы в волновой картине.

Модель 2. Для второй модели основные отражающие горизонты приурочены к кровлям: 1) гравийного грунта (глубина 6-7.5 м); 2) обвального-карстовых отложений (9-10.5 м); 3) пласта известняка (17 м); 4) гипсо-ангидритовой толщи (18-20 м); 5) доломитизированных известняков (44-46 м).

Гравийный грунт залегает под суглинками и глинами и характеризуется скоростью распространения упругих волн 1500 м/с. Обвального-карстовые отложения сложены щебнем и дресвой известняка, доломита с глинистым заполнителем ($V_{\text{инт}}=1700$ м/с). Скорость в пласте известняка – 2000 м/с. Гипсо-ангидритовая толща представлена ангидритом крупнокристаллическим, трещиноватым с включениями гипса и доломита ($V_{\text{инт}}=2280$ м/с). Карстовое образование в модели располагается в гипсо-ангидритовой толще сразу под пластом известняка и пред-

ставляет собой частично заполненную щебнем известняка и гипса полость. Непосредственно полость характеризуется скоростью 500 м/с, а интервал её заполнения – 900 м/с. Все нижележащие отложения в пределах участка профиля, который совмещён с карстом, имеют пониженные значения скоростей. В гипсово-ангидритовой толще залегают также вошедшие в модель прослой доломита ($V_{\text{инт}}=2350$ м/с). Последний ОГ относится к доломитам и доломитизированным известнякам ($V_{\text{инт}}=2500$ м/с).

Теоретический временной разрез для данной модели отражает её строение. В соответствующей расположению карстовой полости части временного разреза (пк.90-150) также наблюдается нарушение регулярности волновой картины и изменение амплитудных характеристик отражённых сигналов (понижение частоты, изменение формы и значительное затухание). Кинематические особенности влияния неоднородности на волновую картину проявляются в увеличении времён регистрации отражений от нижерасположенных ОГ.

Модель 3 представляет собой разрез, сложенный суглинками и глинами ниже которых залегает гравийный грунт. Положение его кровли (первый ОГ) соответствует глубине 7-8.5 м. Интервал расположения гравийного грунта характеризуется скоростью 1650 м/с. Ниже (14 м) второй ОГ – обвальное-карстовое отложение ($V_{\text{инт}}=2000$ м/с). Далее по разрезу на глубине 20 м залегает гипсо-ангидритовая толща ($V_{\text{инт}}=2300$ м/с), кровля которой является третьим ОГ. Последним в модели является ОГ, приуроченный к кровле доломитовой толщи ($V_{\text{инт}}=2600$ м/с) на глубине 37-42 метра. Карстовое образование для данной модели охватывает интервал гравийного грунта, обвальное-карстовых и гипсо-ангидритовых отложений и представляет собой переслаивание пород данных толщ после их обрушения в область растворения. Обрушенные породы по своим скоростным свойствам слабо отличаются друг от друга и имеют значения: для гипсо-ангидритовых прослоев – 1200 м/с, для обвальное-карстовых – 1300 м/с.

Синтетический временной разрез для третьей модели характеризуется выдержанной слоистостью ОГ вне зоны обрушения и негоризонтальным прерывистым их прослеживанием в пределах карста во всём интервале его развития. Сейсмическая запись на участке карста имеет повышенное затухание и пониженную частоту сигнала. При этом по динамическим характеристикам отражённых волн отличаются и вышележащие ОГ.

При сопоставлении реальных временных разрезов с модельными наблюдается их соответствие друг другу по проявлению карстовых образований в волновых полях и динамических характеристиках сейсмической записи, что позволяет сделать вывод о правомочности интерпретационных представлений по всем выбранным типам моделей при реальных инженерных сейсморазведочных исследованиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мониторинг экзогенных геологических процессов на территории Пермской области. (Отчёт о НИР по государственному контракту № 89 с Главным управлением природопользования Пермской области). Пермь, 2004. Фонды ГИ УрО РАН.

2. Пригара А.М. Программно-алгоритмическое обеспечение решения прямых задач малоглубинной сейсморазведки // Геофизические методы поисков и разведки месторождений нефти и газа: Межвузовский сборник науч. трудов. - Пермь, 1999.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАСЧЕТА СТАТИЧЕСКИХ ПОПРАВОК В ИНЖЕНЕРНОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКЕ ПО ПРЕЛОМЛЕННЫМ И ПО ПОВЕРХНОСТНЫМ ВОЛНАМ

В настоящее время в инженерной сейсморазведке по методике ОГТ учет скоростных неоднородностей в приповерхностных отложениях с помощью статических поправок не проводится. Это связано с потерей значительной части информации об особенностях строения верхних пластов за счет вычитания времен при вводе статических поправок. Проведен сравнительный анализ двух предположительных способов расчета статических поправок - по преломленным и по поверхностным волнам.

Практические эксперименты по изучению поверхностных волн, регистрируемых при наземных сейсмических наблюдениях, проведены по материалам, полученным в г. Березники в 2002 г. Полевые работы выполнены по методике невзрывной инженерной сейсморазведки с использованием интерференционной системы наблюдений по общей глубинной точке.

Тип системы – центральная, шаг – 2 м, максимальная кратность – 16, максимальное удаление – 62 м, минимальное удаление – 2 м. В качестве источника упругих колебаний применялся падающий груз. Энергия одного удара – 200-300 Дж. Число накоплений 6. Регистрация сейсмических колебаний осуществлялась с помощью цифровой компьютерной станции IS-48, шаг дискретизации - 0.2 мс, длина записи - 1000 дискрет.

Синтетические сейсмограммы рассчитаны для такой же системы наблюдения, что и практические, в качестве единичного импульса выбрана затухающая синусоида, частота - 300 Гц, коэффициент затухания – 70.

На первом этапе по реальным сейсмическим данным рассчитана модель самых верхних слоев верхней части разреза. В результате получена модель среды, в которой скорость продольных волн меняется как по вертикали, так и по горизонтали. Характерной особенностью этой модели является то, что по вертикали она имеет знакопеременный градиент скоростей.

Модель, полученная по поверхностным волнам, использовалась для расчета синтетических сейсмограмм, по которым в последствии была предпринята попытка расчета статически поправок по преломленным волнам. Однако, в силу сложного строения, а также знакопеременного градиента скоростей, эти вычисления оказались не возможны.

Модель упрощена путем аппроксимации пачки верхних слоев одним слоем с постоянной скоростью для каждого блока. Расчет статических поправок по преломленным волнам для такой модели среды также оказался невозможным без изменения параметров расстановки из-за резкой границы между верхней низкоскоростной толщей и нижележащими породами ($V_2/V_1 > 2.5$).

Для модели с одним блоком в приповерхностной части разреза пониженной скорости по преломленным волнам получены удовлетворительные результаты и рассчитаны статические поправки.

Таким образом, расчет статических поправок по преломленным волнам имеет строгие ограничения, а именно: акустическая жесткость границ должна находиться в определенных пределах ($k < 2$), напластование должно идти с возрастанием скорости и изменение скорости по латерали должно быть незначительным, по-

этому в большинстве случаев невозможно его использовать с указанными параметрами расстановки.

В результате сравнительного анализа двух способов расчета статических поправок в инженерной сейсморазведке по поверхностным и преломленным волнам сделан вывод о том, что поверхностные волны имеют ряд преимуществ: поверхностные волны не имеют ограничения по знаку градиента скоростей модели, не имеют ограничения по величине акустической жесткости границ и поэтому могут быть использованы для определения статических поправок в инженерной сейсморазведке даже в сложных геологических условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Левшин А.Л. Поверхностные и каналовые сейсмические волны М.: Недра, 1973.

Ю.В. Баранов

ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ, ПРОИЗВОДИМЫХ ОАО «САРАНОВСКАЯ ШАХТА "РУДНАЯ"» НА ЗДАНИЯ П. САРАНЫ

С 1 июня по 31 августа 2004 года лаборатория природной и техногенной сейсмичности Горного института УрО РАН проводила работы по определению оптимальности применяемых технологий буровзрывных работ и изучению их сейсмического воздействия на поверхностные здания и сооружения, расположенные в зоне влияния горных работ ОАО «Сарановская шахта "Рудная"» (п. Сараны, Пермская область).

Поскольку часть взрывных работ в шахте проводится в непосредственной близости от жилых зданий п. Сараны, воздействие сейсмических волн взрывов в конструктивных элементах зданий и сооружений создает дополнительные нагрузки, вызывающие добавочные напряжения и деформации. Если отдельные элементы при этом окажутся недостаточно прочными или устойчивыми, то они получают остаточные смещения или в них формируются трещины [1]. В результате, после неоднократных сейсмических воздействий, сооружения могут оказаться непригодными к дальнейшей эксплуатации, поэтому, во избежание повреждений зданий и сооружений, расстояния от них до места взрыва не должны быть меньше сейсмически безопасных расстояний (радиусов сейсмически опасных зон), определяемых соответствующими нормативными документами.

В общем виде различные типы безопасных расстояний при производстве взрывных работ (для однократного взрыва сосредоточенного заряда, для одновременного взрывания нескольких сосредоточенных или рассредоточенных зарядов) регламентированы в «Единых правилах безопасности при взрывных работах. ПБ 13-407-01» [2].

Для применяемой на ОАО «Сарановская шахта «Рудная»» технологии ведения взрывных работ наибольшее практическое значение имеет оценка сейсмического эффекта для одновременного взрывания группы зарядов. При одновременном взрывании N зарядов взрывчатых веществ общей массой Q со временем замедления между взрывами каждого заряда не менее 20 мс сейсмически безопасное для зданий и сооружений расстояние r_c может быть рассчитано по формуле :

$$r_c = K_z K_c \alpha N^{-1/4} Q^{1/3}, \quad (1)$$

где K_z , K_c и α - коэффициенты, зависящие, соответственно, от свойств грунта в основании охраняемого здания (сооружения), от типа здания (сооружения) и от условий взрывания [2].

При всей своей простоте метод определения безопасных расстояний с использованием формулы (1) имеет, вместе с тем, крайне ограниченное применение, поскольку в реальных условиях выбор каждого из коэффициентов K_z , K_c и α представляет собой не тривиальную задачу. Кроме того, целый ряд условий взрывания, таких как направленность сейсмического действия группы зарядов, состояние массива пород на пути распространения сейсмических волн от взрыва (связанное с конфигурацией выработанного пространства шахтных полей), наличие повреждений зданий при повторяющихся взрывах и многие другие указанной методикой не охватываются. Все это обуславливает широкое применение на практике инструментальных методов прямого определения сейсмической опасности взрывов.

Наиболее распространенным критерием сейсмической опасности, принятым как в России, так и в зарубежных странах, является векторная скорость колебаний грунта V_Σ у оснований охраняемых зданий и сооружений. Экспериментальные исследования показали, что, по сравнению со всеми другими параметрами сейсмических волн (амплитудой смещения, ускорением смещения и др.), скорость смещений лучше всего коррелирует с начальными повреждениями зданий [3].

Вместе с тем, несмотря на то что скорость смещений грунта практически общепринята как мера оценки устойчивости зданий, ее допустимые значения существенно неоднозначны, так как зависят от типа и назначения зданий, частоты колебаний грунта, характера взаимодействия грунта и сооружений и целого ряда других факторов. Большинство допустимых значений скоростей смещения приняты в пределах 1 – 3 см/с и зависят от типа и состояния конкретного сооружения и типа грунта, на котором возведено сооружение.

При проведении всех видов инструментальных измерений колебаний грунтов и сооружений, вызванных как взрывами, так и природными и техногенными микросейсмами, использовался специальный мобильный исследовательский сейсмологический комплекс «ИСК-3», разработанный в Горном институте УрО РАН. В качестве датчиков использовались высокочувствительные сейсмометры СМЗ-КВ (разработка КБ «Геофизприбор» РАН).

На шахте «Рудная» отработка ведется с использованием системы подэтажных штреков с отбойкой руды штанговыми скважинами на открытые камеры с оставлением междукамерных, междублоковых и междуэтажных целиков с закладкой выработок пустой породой. Для подготовки и очистной выемки применяется шпуровая отбойка. Соответственно для подготовительных и очистных выработок используется различные схемы буровзрывных работ. За период наблюдения на шахте «Рудная» было произведено 34 технологических взрыва массой ВВ от 1 до 105 кг. Расстояния от пунктов наблюдений до мест проведения взрывов составляли от 255 до 1800 м.

Отрабатываемые участки северного фланга месторождения пространственно совпадают с северо-западной окраиной п. Сараны, которая застроена преимущественно кирпичными зданиями малой этажности. Исследовалось влияние технологических взрывов на здание школы, здание столовой, а также нескольких жилых домов. Поскольку объекты исследования – одно- и двухэтажные здания, имеющие местами трещины в несущих стенах, максимально допустимые величины скоростей смещения при сейсмическом воздействии на них таких зданий со-

ставляют от 1 до 2.5 см/с. Основные измерения были проведены с использованием двух групп трехкомпонентных сейсмоприемников, устанавливаемых как на грунте, так и на лестничных пролетах на всех этажах исследуемых зданий. Также измерения сейсмического воздействия взрывов были выполнены на местности на различных расстояниях до места взрывных работ с целью уточнения зависимости амплитуды колебаний от параметров источника.

Общей особенностью спектрального состава всех записей является наличие интенсивных высокочастотных колебаний в диапазоне от 20 до 120 Гц. Низкочастотные колебания на полученных записях почти не представлены. Наличие интенсивных высокочастотных колебаний связано прежде всего с особенностями грунта в точках наблюдения – практически вся исследуемая территория сложена крепкими породами (габбро-диабазы, сланцы различного состава), обладающими высокой добротностью. Учитывая то, что для всех представленных взрывов частотный состав колебаний значительно отличается в различных точках наблюдения, данную особенность следует связать с влиянием самих сооружений. Как правило, этот эффект проявляется в виде затухания наиболее высокочастотных колебаний, но возможно и обратное явление, связанное с «дрожанием» отдельных элементов сооружения.

Воздействие сейсмических колебаний на разные в конструктивном отношении здания и сооружения зависит от их динамических (резонансных) характеристик. Такие характеристики для исследуемых зданий были получены с помощью исследования микросейсмических колебаний на различных этажах зданий и на грунте. Также с помощью различных методик было проведено исследование резонансных характеристик грунтов.

Основным результатом проведенных работ является эмпирическая зависимость значения векторной скорости V_{Σ} колебаний грунта от расстояния R до взрыва с массой одновременно взрываемого заряда Q (рис.1). Минимально возможное расстояние от фронта ведения взрывных работ в рассматриваемых условиях может составлять 250 м (глубина горных работ), поэтому, согласно полученной зависимости, применяемая на шахте основная технология ведения буровзрывных работ представляется оптимальной с точки зрения степени воздействия взрывов на подрабатываемые здания и сооружения.

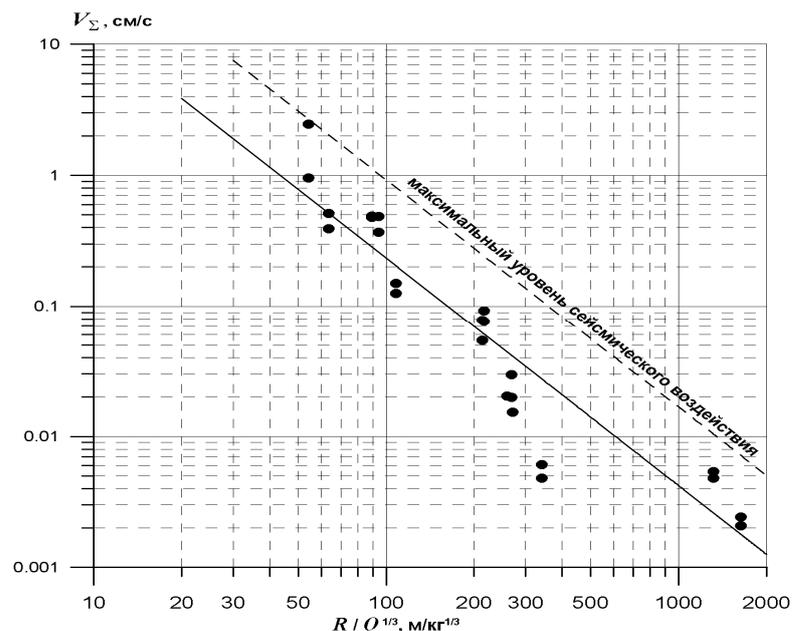


Рис.1. Зависимость максимальной векторной скорости смещения грунта от приведенного расстояния для Сарановской шахты «Рудная»

Для построения зависимости были использованы только те значения V_{Σ} , которые зафиксированы на грунтах или у основания зданий. Несмотря на значительное разнообразие условий взрывания (по количеству взрываемых групп, расстояниям между группами и весу зарядов) получено корреляционное уравнение

$$V_{\Sigma} = 715 (R / Q^{1/3})^{-1.74},$$

характеризующееся коэффициентом корреляции $K = 0.94$.

В результате изучения резонансных характеристик сооружений обнаружен эффект возможного повышенного сейсмического воздействия на 2-этажные здания, но поскольку частоты собственных поперечных колебаний зданий смещены относительно частот преобладающих колебаний, связанных с взрывами, явление резонанса в зданиях маловероятно. То же самое справедливо для эффекта резонансного усиления, обусловленного особенностями грунтов. Частота резонанса грунта (0.5-1 Гц) в районе исследований не совпадает с резонансными частотами зданий, что препятствует значительному усилению сейсмических воздействий.

С учетом всего вышесказанного, для соблюдения действующих норм и правил руководству ОАО «Сарановская шахта "Рудная"» было предложено пользоваться специально составленными таблицами и графиками, где приведены значения максимального допустимого одновременно инициируемого количества ВВ для различных эпицентральных расстояний. Дополнительные рекомендации были связаны с более полным учетом поверхностных условий на участках расположения жилых зданий и других объектов. Реализация этих рекомендаций позволит существенно снизить вероятность развития даже самых слабых форм повреждаемости гражданских и промышленных объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кириллов Ф.А., Медведев С.В., Шамин В.М. Инструкция по обследованию сейсмического действия взрывов на сооружения // Вопросы инженерной сейсмологии. Вып. 6. (Труды ИФЗ АН СССР, № 21 (188)). - М.: АН СССР, 1962. – С. 118-122.
2. Единые правила безопасности при взрывных работах. ПБ 13-407-01. – СПб: ДЕАН, 2002. - 240 с.
3. Садовский М.А. Сейсмический эффект взрывов. - М.: Недра, 1939. – 182 с.

Т.С. Блинова

ИЗУЧЕНИЕ ГРАНИЦЫ МОХОРОВИЧИЧА В ЗАПАДНО-УРАЛЬСКОМ РЕГИОНЕ

Методам построения и описания рельефа поверхности Мохоровичича различных районов Земли посвящено большое число публикаций специалистов по тектонике, геодинамике и геофизике (А.Я. Ярош, Г.Д. Дементьева, Г.Г. Кассин, Н.А. Беляевский, Б.В. Ермаков, Г.В. Краснопевцева, М.И. Разинкова, В.Н. Семов, Ю.К. Щукин, Н.Я. Кунин, Ю.Г. Леонов, Е.Е. Золотов, В.А. Ракитов, Н.И. Халевин, В.М. Рыбалка, Ю.С. Каретин, В.С. Дружинин, А.Г. Дьяконова, В.Б. Соколов, В.А. Николаев и др.).

Поверхность Мохоровичича является границей между земной корой и верхней мантией. Она наиболее четко и устойчиво прослеживается среди всех глубин-

ных сейсмических границ [2-6, 9, 10]. Глубина залегания поверхности Мохоровичича является одним из основных параметров, используемых при изучении глубинного строения литосферы. Методам построения и описания рельефа поверхности Мохоровичича различных районов Земли посвящено большое число публикаций специалистов по тектонике, геодинамике и геофизике. Опыт работ [1-11] показывает, что большой интерес представляют схемы рельефа поверхности Мохоровичича, их связь с вышележащими поверхностями земной коры, а также наличие переходной зоны от коры к мантии, ее мощность и значения скоростей.

На территории Западно-Уральского региона работы по исследованию глубинного строения недр, в том числе по изучению особенностей строения границы Мохо выполняется уже 40 лет. Из всего комплекса геофизических методов наиболее информативными методами изучения глубинного строения земной коры являются сейсмометрические, которые включают [7]:

- 1) профильные глубинные сейсмические зондирования (ГСЗ);
- 2) региональные площадные сейсмические исследования;
- 3) работы методом отраженных волн, а также его модификацией – методом общей глубинной точки (ОГТ).

Для изучения морфологии границы Мохоровичича были использованы глубинные разрезы по Свердловскому, Красноуральскому и Уральскому профилям ГСЗ [2-5], по профилю ГСЗ UWARS, а также по геотраверсам «Рубин», «Гранит» [6, 9, 10] и др. Целым рядом исследователей (Беляевский и др., 1984; Ермаков, Шукин и др., 1984; Хаин и др., 1986; Краснопевцева, 1993; Дружинин, 1995 и др.) по материалам ГСЗ с привлечением других геофизических методов были построены карты глубин залегания поверхности Мохоровичича для Урала и прилегающих территорий.

Поверхность Мохоровичича в большей части разреза восточной окраины Восточно-Европейской платформы выражена четкой сейсмической границей. С запада на восток, от Камско-Бельского авлакогена до Урала происходит погружение границы Мохоровичича от 35 до 55 км. С юга на север происходит погружение границы Мохоровичича от 35-40 км в Пермско-Башкирском своде и в южной части Камско-Бельского авлакогена до 38-45 км в Камском своде и до 48 км в юго-восточной части Тимана.

Блоковость среды в пределах региона также подтверждают данные многоволнового ГСЗ вдоль геотраверса «Рубин» [10], пересекающего его с северо-запада на юго-восток. Профиль «Рубин» пересекает основные крупные структуры региона: Казанско-Кажимский авлакоген, Коми-Пермяцкий погребенный свод, Камско-Бельский авлакоген, Камский наложенно-погребенный свод, Предуральский прогиб и Западно-Уральскую складчатую зону. Вдоль линии профиля наблюдается поднятие границы Мохоровичича в пределах Предуральского прогиба и Казанско-Кажимского авлакогена.

Кроме исследований границы Мохоровичича всей Восточно-Европейской платформы, было предпринято изучение ее методом сейсморазведки ОГТ на отдельных участках Пермского Прикамья. Первый опыт таких исследований проведен при региональных исследованиях в 1996-1998 гг. в центральной части Камского свода. Были получены интересные сведения о характере волнового поля на временах до 16с и даны ориентировочные версии о глубинном строении земной коры [8].

Для этих целей отработаны региональные профили Чус-Таман длиной 60 км и Кува-Пожва длиной 54.4 км. Использовалась центральная 24-кратная система наблюдений на базе 4750 м, расстояние между центрами групп приборов составило 50 м, между пунктами возбуждения 100 м. Группирование сейсмоприемников:

12 приборов на базе 20 м. Возбуждение упругих колебаний осуществлялось с помощью взрывов тротильных зарядов массой 2.5 кг в одиночных скважинах глубиной 10-21 м. Позиция пункта возбуждения упругих колебаний на 49 канале. Регистрация колебаний осуществлялась цифровой 96-канальной станцией «Прогресс-96». Длительность записи составила 16с, шаг квантования – 0.004 с. Граф машинной обработки полного интервала сейсмозаписи до 16с включил процедуры вычитания волн-помех, полосовую фильтрацию, коррекцию кинематики и статики, миграцию. В результате были получены достаточно качественные временные разрезы по профилю Кува-Пожва [8]. На времени 12.8с выделяется интенсивное двухфазное отражение (ОГ “М”), предположительно отождествляемое с границей Мохоровичича. В восточной части профиля времена регистрации ОГ “М” на 0.3с меньше, чем в западной части профиля. При средней скорости распространения продольных волн в земной коре примерно равной 6500 м/с глубина залегания границы Мохоровичича составит порядка 40 км. Амплитуда смещения ОГ “М” составляет более 1 км при скорости в низах земной коры 7000 м/с. По профилю Чус-Таман также прослежена глубина залегания границы Мохоровичича. Амплитуда смещения ОГ “М” составляет более 1 км и наблюдается ее поднятие с запада на восток [8].

Полученные данные по профилям ГСЗ Рубин и Красноуральский, а также данные карт рельефа поверхности Мохоровичича Восточно-Европейской платформы свидетельствуют, что перепад глубин на концах профилей ОГТ Кува-Пожва и Чус-Таман составляет 1 км и в обоих случаях сохраняется поднятие границы Мохоровичича с запада на восток.

Позже были проведены региональные сейсмические исследования геологического строения северной части Пермской области по профилю Усть-Уролка-Гайны с целью изучения зоны сочленения Камского и Коми-Пермяцкого беломорских массивов с Гайнско-Кудымкарской зоной калерид. Длина профиля 40 км. Своеобразие профиля заключается в том, что на нем вторично в Пермском Прикамье осуществлена регистрация сейсмозаписи до 16с, то есть попытка получить сведения о геологическом строении земной коры от малых глубин до верхней мантии.

Использовалась центральная 24-кратная система наблюдений на базе 4750 м, расстояние между пунктами возбуждения 100 м, расстояние между пунктами приема 50 м. Группирование 12 геофонов на продольной базе 22 м. Возбуждение упругих колебаний взрывом заряда ВВ величиной 2.9 кг в скважине глубиной 5-20 м. Позиция пункта возбуждения – 49 канал. Регистрация упругих колебаний велась 96-канальной станцией «Прогресс- 3». Длительность записи 16 с, шаг квантования 0,002 с. Временные разрезы составлены на РС по комплексу программ SDS-PC, SPS-PC с дообработкой программами Geovesteur Plus [7].

На временном разрезе ОГТ по профилю Усть-Уролка-Гайны серия волн, связанных с зоной раздела «кора-мантия», обладает увеличенным интервалом регистрации, слабой амплитудной выразительностью, многофазием колебаний и имеет устойчивый «штриховой» характер записи. Штриховое поле коротких осей синфазности внутри названной серии волн не позволяет выполнить непрерывную фазовую корреляцию. В связи с этим несколько условно, с использованием принципов групповой корреляции, прослежены верхняя и нижняя поверхности предполагаемой толщи, обладающей слоистой структурой. Нижняя поверхность отождествляется с поверхностью Мохоровичича, а верхняя – с высокоскоростным слоем [7].

Выполненные структурные построения показывают, что обе поверхности воздымаются в восточном направлении на 4.6-4.9 км [7]. Полученные данные по профилю ГСЗ «Рубин» и по данным карт рельефа поверхности Мохоровичича

Восточно-Европейской платформы свидетельствуют, что данный перепад составляет немногим больше 1 км. Такие расхождения представляются вполне приемлемыми, учитывая, что карты по данным ГСЗ дают экстраполированные значения глубин границы Мохо, хотя в обоих случаях сохраняется поднятие границы Мохоровичича с запада на восток. Не исключено, что при получении дополнительных сведений о положении границы Мохо на более протяженных профилях в районе профиля ОГТ Усть-Уролка-Гайны появится возможность пересмотреть данные карт поверхности границы Мохоровичича в этом районе.

Таким образом, привлечение результатов глубинных исследований по региональным профилям ОГТ может дать принципиально новую информацию о локальных особенностях морфологии границы Мохо, которые не нашли своего отражения в существующих картах рельефа этой границы вследствие их редкой сети. Эти исследования имеют большое будущее, так как позволят решить многие спорные вопросы в изучении больших глубин земной коры, что так необходимо в различных областях наук о Земле.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блинова Т.С. Прогноз геодинамически неустойчивых зон. Екатеринбург: УрО РАН, 2003. 165 с.
2. Дружинин В.С., Рыбалка В.М., Соболев И.Д. Связь тектоники и магматизма с глубинным строением Среднего Урала по данным ГСЗ. – М.: Недра, 1976. 157 с.
3. Новые данные о глубинном строении Урала (по результатам исследований на Красноуральском профиле ГСЗ) / В.С. Дружинин, Ю.С. Каретин, В.М. Рыбалка, Н.И. Халевин // ДАН АН СССР. 1981. Т.258, № 1. – С.173-176.
4. Использование результатов геофизических исследований на региональных профилях для глубинного геокартирования / В.С. Дружинин, Ю.С. Каретин, Н.И. Начапкин, А.Н. Бахвалов // Разведка и охрана недр. 2000. № 2. – С.2-6.
5. Золотов Е.Е., Ракитов В.А., Солодилов Л.Н. Модель литосферы под профилем «Уральский» по наблюдениям объемных продольных и обменных волн // Разведка и охрана недр. 1994. № 10. – С. 15-18
6. Опыт непродольного профилирования методом ГСЗ на Р и S волнах на Среднем Урале / С.Н. Кашубин, Т.В. Кашубина, В.В. Маковский и др. // Глубинное строение и развитие Урала. – Екатеринбург: Наука, 1996. – С.147-161.
7. Опыт картирования границы Мохо на Западном Урале по данным сейсморазведки методом ОГТ: Материалы Международной науч.-практ. конф. «Перспективы развития геофизических методов в XXI веке / Е.С. Килейко, А.А. Маловичко., В.М. Неганов и др. – Пермь: Изд-во Пермского университета, 2004. – С. 83-87.
8. Региональные геофизические исследования Пермского Прикамья / В.М. Неганов, В.И. Родионовский, А.И. Жданов. и др. // Геофизика, спец. вып. – 2000. – С.23-28.
9. Соколов В.Б., Хисматулин Т.М., Кашубин С.Н. Новый тип внутриплитных структур и динамика их развития (по результатам геолого-геофизических исследований на Геотраверсе «Гранит») // Тез. докл. Международной геофизической конф. «300 лет горно-геологической службе России», 2 –6 октября 2000 г. – Санкт-Петербург, 2000.
10. Солодилов Л.Н. Центр «ГЕОН» – 25 лет глубинных сейсмических исследований // Разведка и охрана недр. - 1994. - № 10. – С.2-7.

РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ РЕГИСТРАЦИИ ДЛЯ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННОГО ЛАЗЕРНОГО ДЕФОРМОГРАФА

В 2004 г. начал действовать интеграционный проект по установке лазерного деформографа в калийном руднике СКРУ-2 (ОАО «Сильвинит», г. Соликамск). В проекте принимают участие Горный институт УрО РАН и Тихоокеанский океанографический институт им. В.И.Ильичева Дальневосточного отделения РАН (ТОИ ДВО РАН). Прибор является высокоточным измерителем продольной деформации интерференционного типа с базой 50 метров. Изготовление, подготовку и установку такого значительного по размерам и стоимости прибора частично взяло на себя 2-ое Соликамское рудоуправление. Так была подготовлена камера с горизонтальным профилем почвы, обеспечена связь и электропитание, ограничение доступа в камеру. Специалистами ТОИ ДВО РАН были предоставлены система регистрации и детали оптической системы.

К январю 2005 г. была сделана вся подготовительная работа и проведены лабораторные испытания прибора, которые показали его готовность к окончательной установке. При испытаниях выяснены параметры сигналов, получаемых системой регистрации, и уточнена структура электроники прибора.

Деформограф использует интерференционный метод измерения расстояния, в основе которого лежит разница длин пробега луча по дистанции оптической скамьи и дистанции измерения. Принцип регистрации – компенсационный, позволяющий удерживать интерференционную картину. Цепь компенсации является и выходом сигнала деформации, который пропорционален величине деформации. Известно, что количество максимумов интерференционной картины бесконечно, поэтому шкала прибора, будучи значительной по величине, условно делится на отрезки $\pm\lambda/2$, где λ – длина волны лазера. Если деформация превышает диапазон $\pm\lambda/2$, на зеркало-компенсатор подается сигнал возврата шкалы (импульс сброса), который учитывается при проведении измерения.

Таким образом суммарная деформация определяется формулой [1]:

$$\Delta L = \left[(k_+ - k_-) + \frac{U_2 - U_1}{U_{\lambda/2}} \right] \lambda / 2, \quad (1)$$

где k_+ и k_- - число сбросов положительной и отрицательной полярности, возникающих при изменениях, превышающих ΔL на величину, равную $\pm\lambda/2$; $U_{\lambda/2}$ – нормирующий множитель в вольтах; U_1, U_2 – значения выходного напряжения в начальный и конечный моменты времени.

Структура системы регистрации такова, что фазовый сдвиг при изменении интерференционной картины измеряется высокоскоростным микроконтроллером, который выводит полученное значение на цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП). Выход ЦАПа подается в цепь компенсации и на выход системы регистрации. Также на выход системы регистрации подаются импульсы сброса. Следует учесть удаленность деформографа от компьютера сбора данных на расстояние около 3-х километров. В связи с вышеперечисленными обстоятельствами, существует 3 способа получения сигнала с деформографа:

1. Передача непрерывного сигнала с использованием метода частотной модуляции. При этом программа регистрации должна фиксировать изменение шкалы по нарушениям непрерывности сигнала. Основной недостаток: дрейф нуля тракта модуляции, а значит, низкая точность измерений сверх-низкочастотных сигналов. Достоинство: высокая надежность и дальность передачи сигнала.

2. Регистрация сигнала около деформографа при помощи внешнего аналого-цифрового преобразователя (АЦП) и дальнейшая передача цифровых данных. Такой способ реализован нашими дальневосточными коллегами. Недостаток: двойное преобразование ЦАП-АЦП, естественно, повышается уровень аппаратного шума. Достоинство: независимость синхросистем АЦП и ЦАП, возможность организации произвольного протокола обмена между АЦП и компьютером сбора данных.

3. Регистрация цифровых данных, передаваемых на ЦАП (значение счетчика фазового сдвига), цифровая фильтрация, сжатие и дальнейшая передача данных пакетным способом. Этот способ наиболее перспективен и имеет только один серьезный недостаток: по сравнению со способом 1 меньшая дальность передачи и помехозащищенность. Для преодоления последнего применяются сжатие данных и использование корректирующих кодов.

Для сбора данных с системы регистрации и передачи их на регистрирующий компьютер был создан дополнительный прибор «Контроллер деформографа – Deform CTRL v 1.1». Он включает в себя:

- 1) контроллер управления;
- 2) порт управления системой регистрации;
- 3) помехозащищенный порт передачи данных;
- 4) индикатор и кнопки управления.

Попытка реализовать способ 3 не принесла желаемого результата. Получение данных, выводимых на ЦАП «на лету», происходило с вероятностью 60%, из-за отсутствия синхронизации между тактовыми генераторами системы регистрации и контроллера деформографа. Исследования показали, что установка синхронизации повышает вероятность получения достоверных данных до 85%, что естественно, непростительно мало. Далее, при таком способе невозможно производить никаких действий с данными из-за постоянной занятости контроллера на мониторинге шины получения данных.

С учетом полученных результатов, было принято решение перепрограммировать системы регистрации с целью создания асинхронного потока данных одновременно с обновлением значений ЦАПа. Далее этот поток будет захватываться контроллером деформографа, обрабатываться и передаваться в компьютер сбора данных. Изменение программы системы регистрации не завершено, потому для сбора данных применяется АЦП, встроенный в контроллер деформографа. Для повышения точности измерения используются АЦП такой же разрядности, что и ЦАП системы регистрации (10 разрядов), и общий источник опорного напряжения. При использовании АЦП высвобождаются значительные вычислительные ресурсы, которые используются при:

- 1) сжатии данных;
- 2) формировании пакетов;
- 3) распознавании сигналов управления;
- 4) проведении диагностики системы регистрации;
- 5) индикации состояния системы.

Получаемые на компьютере сбора данные привязываются к точному времени при помощи GPS и могут быть использованы совместно с данными таких же деформографов, установленных на мысе Шульц (близ г. Владивосток) и на п-ове Камчатка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Долгих Г.И. Исследование волновых полей океана и литосферы лазерно-интерференционными методами. - Владивосток: Дальнаука, 2000.-160 с.

СЕЙСМИЧЕСКАЯ СТАНЦИЯ «ОРЕНБУРГ» И ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ МОНИТОРИНГОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ ЮЖНОГО УРАЛА

Урал не относится к основным сейсмоопасным регионам России, таким как Дальний Восток, Забайкалье или Северный Кавказ [2]. Тем не менее анализ исторических данных и инструментальных наблюдений последних лет убедительно показывает, что землетрясения с проявлениями на поверхности в 5-6 баллов (по международной шкале MSK-64) происходили в различных районах Урала раз в 10-20 лет. По данным инструментальных наблюдений, землетрясения на Урале продолжаются и в настоящее время, причем в результате интенсивной крупномасштабной деятельности человека возрастает количество техногенных событий [4]. В пределах Среднего Урала неоднократно фиксировались сейсмические события с магнитудой более 3.

Согласно созданным картам общего сейсмического районирования (ОСР-97), территория Оренбургской области принадлежит к 6-балльной зоне (для периода повторяемости 5000 лет) [5]. На территории области, согласно каталогу землетрясений за период 1693-1997 гг. [3], было зафиксировано только одно событие, связанное с гидравлическим ударом (взрывом без воспламенения, с выбросом грунта). Это землетрясение наблюдалось близ д. Шишкино в 54 км от Оренбурга (событие 1885 г.). Землетрясения на Южном Урале – явление совсем не частое, вероятно, это связано с недостаточной оснащенностью сети сейсмических станций.

Оренбургская область, одна из крупнейших областей Российской Федерации, занимающая обширные пространства Южного Приуралья, расположена на границе Европы и Азии, на стыке природных зон – леса, степи, гор и равнин. Особенности географического положения Оренбургской области обусловили принадлежность ее территории к различным структурам в региональном геотектоническом плане. Область охватывает юго-восточную окраину Русской платформы, примыкающие к ней Предуральский краевой прогиб и северо-восточную (прибортовую) часть Прикаспийской впадины. Эти особенности явились причиной уникального разнообразия комплекса полезных ископаемых на территории области и закономерности их распространения.

Оренбургская область представляет собой важный нефтегазодобывающий регион европейской части России. К настоящему времени на юге области открыто 40 залежей на 22 промышленных месторождениях. Уникальное Оренбургское газоконденсатное месторождение составляет почти 6 % всех запасов газа страны. Основная часть месторождения расположена на левом берегу реки Урал. Общая площадь газоносности составляет около 1500 кв. км.

Проблема получения надежного определения уровня естественной сейсмичности особенно важна для районов, где деятельность связана с добычей нефти, газа и других полезных ископаемых, районах вблизи ГЭС и водохранилищ.

Для оценки риска возникновения чрезвычайных ситуаций, связанных с природными и природно-техногенными катастрофами на территории Оренбургской области, было принято решение создать сейсмическую станцию. Совместными усилиями ГИ УрО РАН (г. Пермь и г. Оренбург) и Геофизической службой РАН (г. Обнинск) в ноябре 2004 года на полигоне МЧС вблизи пос. Дедуровка была произведена установка и запуск новой сейсмостанции, получившей название

«Оренбург», которая вошла в региональную сеть сейсмологических наблюдений Геофизической службы РАН. Параметры станции представлены в табл. 1.

Таблица 1

Название Станции	Код	Координаты	Тип сейсмометра
Оренбург	ORR	широта: 51.6184 с.ш., долгота: 54.7530 в.д., высота: 90.5 м	СМЗ-ОС ВН, 20 отсч/с СМЗ-КВ ШН, 50 отсч/с

Сейсмостанция «Оренбург», оснащена современной цифровой аппаратурой. Датчики установлены на специально сооруженном постаменте в бункере на глубине около 3 м. Регистрация осуществляется в двух режимах: а) - непрерывном (с использованием широкополосных датчиков СМЗ-ОС) и б) - триггерном (с использованием короткопериодных датчиков СМЗ-КВ), что позволяет фиксировать землетрясения в широком диапазоне магнитуд – от телесейсмических, имеющих очаги на расстояниях несколько тысяч км, до слабых местных, очаги которых удалены на расстояния первых единиц – сотен километров.

Обработка записей сейсмостанции «Оренбург» осуществляется с помощью пакета программ «WSG», разработанного в Геофизической службе РАН (г. Обнинск).

В информационно-обрабатывающем центре, созданном на базе Горного института УрО РАН производится углубленная обработка всех сейсмологических данных. Она включает выделение сейсмических событий различного масштабного уровня и определение их природы. В центре создана и постоянно дополняется новой информацией база данных по сейсмичности. Формируется архив исходных цифровых данных и осуществляется обмен данными с федеральным сейсмологическим центром на базе Геофизической службы РАН в г. Обнинске, а также с региональными центрами

Уральского региона («Соликамск», «Романово», «Добрянка», «Пермь», «Кунгур», «ВЧ городки», «Арты», «Екатеринбург», «Североуральск», «Сыктывкар»).

Результаты обработки за первые месяцы наблюдений показывают, что ежемесячно сейсмостанцией фиксируется около 250 сейсмических событий различной природы.

События можно разделить на 3 типа: телесейсмические, региональные и локальные.

Телесейсмический уровень представлен событиями, для которых эпицентрального расстояние превышает 1000 км [1]. Эти землетрясения имеют продолжительную запись и длинные периоды сейсмических волн. По спектральному составу преобладающие частоты наблюдаются в районе 1 Гц.

Региональные события имеют очаги на расстояниях от 200 км до 1000 км. Волновое поле региональных событий содержит в своем спектральном составе более высокочастотные составляющие, чем телесейсмические.

К локальным (местным) событиям относятся землетрясения, для которых эпицентрального расстояния не превышают 200 км. К этой группе относятся два типа событий:

- «импульсы», короткие по длительности события (от 1.5 до 10 с). Спектральный анализ этих записей выявил преобладание частот в диапазоне 2.5-6.0 Гц для широкополосных датчиков (СМЗ-ОС) и в диапазоне 2.5-11 Гц для короткопе-

риодных (СМЗ-КВ). Природа этих событий пока не ясна. Возможно, они отражают локальные процессы, происходящие в районе расположения станции;

- «микроземлетрясения», записи которых имеют большую длительность. Есть возможность разделения по группам волн.

Проблема регистрации слабых сигналов, распознавания землетрясений и промышленных взрывов, сохранения информации о природе источников в каталогах является актуальной. Сейчас, при высоком уровне взрывной активности на промышленных объектах, не просто выделить из потока сигналов естественные землетрясения. Идентификация природы локальных событий пока затруднена и требует дальнейшего накопления материалов и его анализа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инструкция о порядке производства и обработки наблюдений на сейсмических станциях Единой системы сейсмических наблюдений СССР. - М.: Наука, 1982. - 206 с.

2. Сейсмичность и сейсмическое районирование Уральского региона / С.Н. Кашубин, В.С. Дружинин, А.Н. Гуляев и др. - Екатеринбург: УрО РАН, 2001. - 126 с.

3. Сейсмические события Уральского региона за 1914-2002 гг. - М.: Наука, 2002. - С. 11-13.

4. Маловичко А.А., Голубева И.В. Мониторинг природной и техногенной сейсмичности на Урале // Перспективы развития геофизических методов в XXI веке. - Пермь: ПГУ, 2004. - С. 101-103.

5. Уломов В.И., Шумилина Л.С. Комплект карт сейсмического районирования территории Российской Федерации - ОСР-97. Масштаб 1:8000000. Объяснительная записка и список городов и населенных пунктов, расположенных в сейсмоопасных зонах. - М.: ОИФЗ РАН, 1999.

Р.А. Дягилев

ВОЗМОЖНОСТИ ЛОКАЛЬНОЙ МИКРОСЕЙСМИЧЕСКОЙ ГРУППЫ ПРИ МОНИТОРИНГЕ СЕЙСМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЭПИЦЕНТРЕ ЧУЙСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ (27 СЕНТЯБРЯ 2003 г.)

После сильнейшего землетрясения ($M=7.3$), произошедшего в южной части Горного Алтая 27 сентября 2003 г., район эпицентра стал областью повышенного интереса среди специалистов-сейсмологов. В настоящее время в данном районе постоянный сейсмологический мониторинг осуществляет Геофизическая служба СО РАН. В рамках интеграционного проекта №13 между УрО и СО РАН «Комплексное геофизическое изучение зон активных разрывных нарушений Урала и юга Сибири» в районе эпицентра специалистами ГИ УрО РАН несколько раз были выполнены кратковременные сейсмологические наблюдения с помощью малой сейсмической группы. Работы этапа 2004 года проводились с 16 по 25 августа и попали в фазу афтершоковой активности, длившейся к тому времени уже 11 месяцев. В ходе наблюдений выявлены основные характеристики, определяющие возможности используемого мобильного комплекса при мониторинге слабой сейсмичности, такие как передаточная функция основной конфигурации датчи-

ков, разрешающая способность по различным показателям, зависимость предстательности регистрируемых землетрясений от расстояния и другие.

Использованная при наблюдениях сейсмическая группа построена на базе мобильного сейсмологического комплекса [1], включающего один центральный пункт наблюдения с установленной трехкомпонентной системой датчиков и три пункта, радиально вынесенные в разные стороны на расстояние до 300 м, с установленными вертикальными датчиками. В качестве датчиков использовались короткопериодные сейсмометры СМЗ-КВ (НПО «Поиск») с известной частотной характеристикой в диапазоне от 0,5 до 50 Гц. В плане группа имеет форму, близкую к равностороннему треугольнику (рис. 1а), и обеспечивает достаточно равномерное азимутальное разрешение. Изначально такая структура системы наблюдения была ориентирована на регистрацию сейсмических явлений в локальной зоне радиусом до 1 км. Предполагалось, что наблюдения, проводимые непосредственно в зоне разлома, позволят выявить самые слабые сейсмические явления, связанные с криповыми движениями или другими процессами, не находящими отражения на удаленных сейсмических станциях. Однако практика показала, что установленная сеть успешно может использоваться в качестве самостоятельной сейсмической группы и уверенно фиксировать сейсмические явления различного масштабно-го уровня на значительно больших расстояниях и определять их основные параметры (время в очаге, координаты, магнитуду и др.).

Одним из основных параметров сейсмической группы является коэффициент повышения отношения сигнал-помеха, который устанавливает относительную величину повышения качества суммированных записей, G , в зависимости от количества приемников, N , представляющих группу. Из связующего эти величины выражения $G = \sqrt{N}$ следует, что используемая 4-точечная группа обеспечивает двойное повышение отношения амплитуды полезного сигнала к амплитуде волн-помех.

Поскольку любую сейсмическую группу можно рассматривать как устройство, обеспечивающее дискретизацию фронта бегущей волны в пространстве, то при обработке групповых записей очень важно учитывать передаточную функцию этого устройства во избежание влияния искажений волновых форм эффектом аляйсинга. Передаточная функция определяется геометрией группы и описывает ее фильтрующие свойства в области волнового числа, K , которое имеет прямую связь с частотой волны, f , и ее кажущейся скоростью, V_k . Согласно описанному подходу [2], для рассматриваемой группы получена передаточная функция (рис. 1б). Она представляет собой набор максимумов, повторяющихся с шагом $\Delta K = 0.001$ вдоль трех основных измерительных осей, проходящих через центральную точку. Сами максимумы имеют изометричную форму в своей центральной части и приобретают очертания правильных шес-

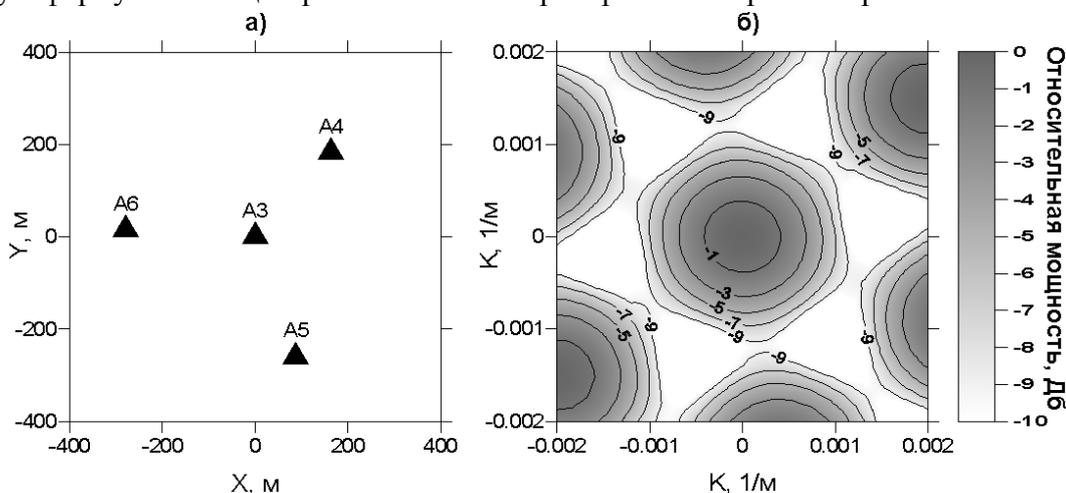


Рис. 1. Пространственная конфигурация микросейсмической группы из 4 пунктов наблюдения (а) и ее передаточная функция (б)

тиугольников на периферии. Полученная характеристика обеспечивает почти равномерное азимутальное разрешение, что характерно для круговых групп. Однако малая апертура группы обуславливает относительно большую ширину центрального максимума, такую, что данная группа не может четко разделять волны с небольшой разницей волновых чисел. Отсюда вытекает соответствующее выражению $K = f / V_k$ разрешение группы по кажущимся скоростям.

Чтобы повысить общую чувствительность системы, особое внимание было уделено выбору места для размещения группы. Основное требование при выборе места установки сейсмологической аппаратуры – это низкий уровень техногенных и природных шумов. Учитывая, что рассматриваемый район расположен в горной местности, где нет промышленных объектов, а населенные пункты расположены достаточно редко и преимущественно вдоль дорог, имеющих тесную связь с речной сетью, особых трудностей с выбором места не возникло. Сейсмическая группа была установлена в юго-западной части Сарылукульской межгорной впадины, принадлежащей Чуйской-Курайской зоне депрессий, на ветви Курайского разлома, ограничивающего впадину с северо-востока. Расстояние до ближайшего населенного пункта (п. Акташ) составило около 20 км, удаленность от линии ЛЭП и дороги, соединяющей п. Акташ и п. Усть-Улаган – не менее 4 км. Измеренный уровень микросейсмических шумов в рабочем диапазоне частот (рис. 2) свидетельствует, что выбранное место является достаточно благоприятным для сейсмологических наблюдений, приближаясь своими шумовыми спектральными характеристиками к самым тихим местам на Земле.

Реальные оценки других показателей группы могут дать только практические наблюдения. Благоприятные условия (высокая сейсмическая активность и низкий уровень микросейсм) способствовали выявлению этих показателей. Всего за 10-дневный период наблюдений было зафиксировано 884 события, более 90 % которых связаны с афтершоковыми процессами в эпицентральной зоне Чуйского землетрясения. Это подтверждается положением эпицентров, пространственно совпадающих с эпицентральной зоной главного события, имеющей форму эллипса вытянутого в северо-западном направлении с размерами большей полуоси около 50 км. Полученный объем данных позволяет подойти к решению задачи определения чувствительности системы к энергетическим параметрам сейсмических явлений.

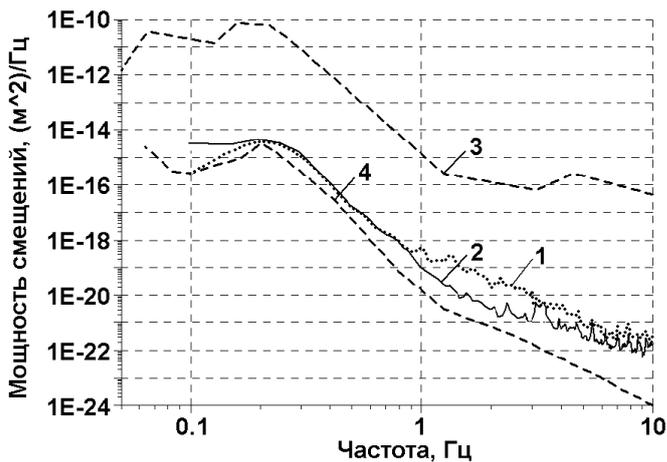


Рис.2. Сравнительный уровень микросейсмических шумов:
 1 – шум, измеренный днем;
 2 – шум, измеренный ночью;
 3 – верхний шумовой предел, допустимый для наблюдений;
 4 – нижний шумовой предел, достигнутый измерениями в различных точках Земли.

Общую энергетическую представительность событий дает график повторяемости, пиковая точка которого ограничивает магнитуду землетрясений, регистрируемых без пропусков. Полученный по каталогу землетрясений, произошедших в радиусе 150 км, график повторяемости (рис. 3а) свидетельствует о том, что используемая группа обеспечивает представительную регистрацию для землетрясений, начиная с магнитуды -0.25. Именно с этой отметки отмечается прямолинейная связь логарифма количества землетрясений от их магнитуды. Следует ожи-

дать, что оценка представительности будет меняться в зависимости от радиуса R охватываемой области. Уменьшение рассматриваемого объема среды приведет к снижению количества землетрясений, однако при этом доля слабых событий увеличится, что отразится на графике повторяемости соответствующим смещением максимума. Данная ситуация подтверждается экспериментальными оценками (рис. 3б), полученными по набору землетрясений в пределах областей различного радиуса. Более того, установлена корреляционная связь между минимальной представительной магнитудой и расстоянием до гипоцентра:

$$M_L(N_{\max}) = 1.31 \cdot \lg R - 2.88. \quad (1)$$

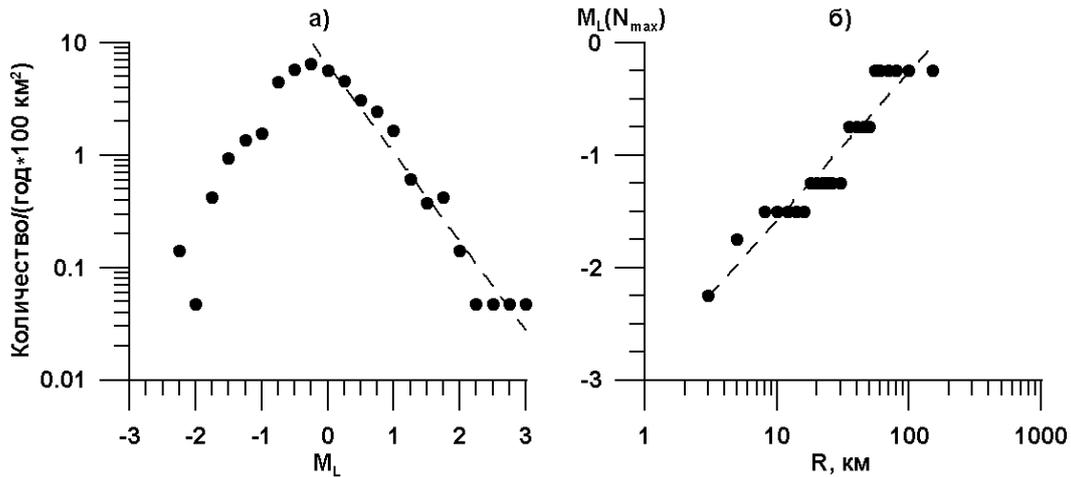


Рис. 4. График повторяемости для землетрясений в радиусе 150 км (а) и зависимость представительной магнитуды землетрясений от расстояния (б)

Следует принять во внимание, что полученная средняя ошибка определения локальной магнитуды, зависящая от ошибки определения амплитуды волны и расстояния до эпицентра, составляет 0.13 и распространяется на данную зависимость тоже. Фактически (1) дает представление о регистрационных возможностях локальной группы в условиях, близких к идеальным, поскольку наблюдаемый уровень шумов, как отмечено выше, является низким, а поглощение энергии волн в жестких коренных породах, выступающих на поверхность, минимально. При аналогичных наблюдениях в условиях, отличных от идеальных, коэффициенты зависимости будут меняться. Для привязки (1) к конкретным условиям следует иметь в виду следующие факторы. Снижение чувствительности за счет изменения уровня шумов не будет зависеть от расстояния до очага, поэтому проявится, как относительное вертикальное смещение графика, пропорциональное относительному изменению уровня микросейсм. Влияние региональных факторов (для событий на удалении примерно до 200 км), таких как поглощение энергии колебаний средой, напротив, увеличивается с расстоянием, поэтому скажется на наклоне графика и его смещении одновременно. Повышение поглощения отразится меньшим наклоном в (1) и вертикальным и незначительным смещением вверх. Конечные оценки последних можно получить только с помощью специальных измерений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бутырин П.Г., Алехнович К.В., Савинов А.С. Мобильный комплекс для многоканальных сейсмологических наблюдений // Проблемы комплексного мониторинга на месторождениях полезных ископаемых. Сборник докладов. Пермь: ГИ УрО РАН, 2002. С.47-49.
2. New manual of seismological observatory practice // P.Borman (ed.). Vol.1. GFZ, Potsdam, 2002.

ИССЛЕДОВАНИЕ СЕЙСМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВЗРЫВОВ НА ТРАССАХ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ (МГС)

Проблема надежной эксплуатации магистральных трубопроводов затрагивает интересы всех крупнейших нефтяных и газовых компаний мира, а также населения регионов, где они проложены. В Российской Федерации функционируют магистральные нефте- и газопроводы общей протяженностью около 600 тыс. км. Аварии трубопроводов - обычно причины больших экологических разрушений и экономических потерь.

Газотранспортная система ООО «Пермтрансгаз» на территории Западно-Уральского региона (в пределах Пермской области и республики Удмуртия) представлена разветвленной сетью магистральных газопроводов диаметром 1420 мм, имеющими общую протяженность около 9000 км и включающими 15 компрессорных станций. В эксплуатируемую ООО «Пермтрансгаз» сеть входят также 1498 км газопроводов-отводов различных диаметров и 124 газораспределительных станции. В совокупности они составляют примерно 1/15 часть от всей газотранспортной системы ОАО «Газпром». Основные газовые потоки идут с севера Западной Сибири от месторождений Ямбург и Уренгой и, как правило, являются многониточными. Количество ниток газопроводов в потоках составляет от 3 до 6.

Магистральные газопроводные системы представляют собой сложные технические объекты, осуществляющие транспортировку токсичного продукта под высокими эксплуатационными давлениями (до 7,5 МПа). В связи с этим газопроводные системы обладают повышенным риском возникновения различного рода аварийных ситуаций. Ряд аварий, сопровождавшихся взрывами и возгоранием газа, приводил к тяжелым последствиям, включая человеческие жертвы и значительный экономический ущерб. Так, во время аварии в июне 1989 года на магистральном газопроводе «Тобольск-Миннибаево», произошедшей на территории соседнего с Западным Уралом региона – республики Башкортостан, погибло 530 человек.

Проблема повышения технической безопасности и надежности эксплуатации газопроводных систем уже полтора десятка лет является одной из главных в газовой отрасли. Однако, несмотря на реализацию целого ряда научно-технических отраслевых программ, уровень аварийности на магистральных газопроводах не снижается. Одной из главных причин этого являются постоянно увеличивающиеся сроки их эксплуатации и, соответственно, старение всего комплекса оборудования. В настоящее время 20-летний возрастной рубеж перешло 34% всех газопроводов; 30-летний (условно нормативный срок службы) – около 15%; 40-летний – 3,5%.

Все отмеченные выше особенности эксплуатации магистральных газопроводов и связанные с ними проблемы характерны и для газотранспортных систем Западного Урала.

По данным, предоставленным производственным отделом по эксплуатации магистральных газопроводов и газораспределительных станций (ПОЭМГиГРС) ООО «Пермтрансгаз» за период 1985 – 2003 гг., на магистральных газопроводах и отводах ООО «Пермтрансгаз» произошло более 30 аварий.

При анализе аварийных ситуаций в зависимости от их технических причин использована типичная для газопроводного транспорта классификация, включающая 4 вида причин:

- 1) разрыв газопровода по ослабленным местам (из-за наружной и внутренней коррозии металла, заводских дефектов труб и др.);
- 2) брак строительно-монтажных и сварных работ;
- 3) повреждения газопровода в результате внешних воздействий;
- 4) воздействие природных факторов (оползневые и карстовые процессы, вымывание грунта и др.).

Определено, что по суммарному количеству (16 случаев) доминируют аварии, связанные с разрывами по ослабленным зонам (50% от общего числа). Аварии, связанные с браком строительно-монтажных и сварных работ, составляют вторую по значимости группу (25% случаев). На долю аварий, обусловленных повреждениями трубопроводов и влиянием природных факторов, приходится, соответственно, по 12,5%.

Одной из главных тенденций характера изменения аварийности представляется устойчивое возрастание со временем доли аварий первой группы, связанных преимущественно с коррозией металла труб под напряжением (стресс коррозией).

В 2003 – 2004 гг. зафиксировано 7 аварийных случаев разрушения газопроводов с выбросом газа.

В 2003 году на магистральном газопроводе «Уренгой-Петровск» произошли три крупные аварии, сопровождавшиеся взрывами газа. Две аварии произошли в Башкирии, на территории Благовещенского района, граничного с территорией Октябрьского района Пермской области. Еще одна авария произошла в Горнозаводском районе Пермской области. Все эти аварии сопровождались сейсмическим эффектом, который был зарегистрирован региональными сейсмическими станциями «Арти» и «Романово».

Анализ и интерпретация сейсмологических данных, зарегистрированных удаленными от места аварий сеймостанциями, позволили количественно оценить ряд характеристик взрывов, произошедших на магистральном газопроводе «Уренгой-Петровск» (А.А Маловичко, Д.А. Маловичко и др., 2003).

12 января 2004 года в 10 час. 30 мин. по московскому времени в Березовском районе Пермской области произошел прорыв МГ «Уренгой –Петровск» с последующим возгоранием. Эпицентр взрыва находился в трех километрах от компрессорной станции Кунгурского ЛПУ ООО «Пермтрансгаз». По данным РИА «Новости», объем взорвавшегося газа составил 1 млн 853 тыс. куб.м. Площадь зоны термического влияния 250 × 200 м, зона влияния термической волны около 3.0 га открытой площади.

Сейсмограммы взрыва в Березовском районе записаны станциями «Кунгур», «Арти», «Добрянка», «Романово» (рис.) 1. Несмотря на то что сеймостанции, за исключением с/ станции «Кунгур», удалены от места аварии на значительное расстояние (до 200 км), было зафиксировано четкое вступление волны **AcR** (Рэлеевской волны, генерированной ударной воздушной волной). В результате обработки данных о времени вступления волны **AcR** и удалении очага аварии оценено время взрыва на газопроводе – 07:27:14 (UTC).

Анализ трассы Z-компоненты показывает, что после прихода волны **AcR** уровень шумов значительно вырос, что можно связать с интенсивным горением газа и, соответственно, с генерацией звуковых волн (гул от языков пламени).

Формирование базы данных по технологическим взрывам на газопроводах и других производственных объектах позволяет исследовать характер распространения сейсмических и ударных воздушных волн, генерированных взрывом, процесс развития аварии в очаге и более достоверно осуществлять идентификацию сейсмических событий от различных источников.

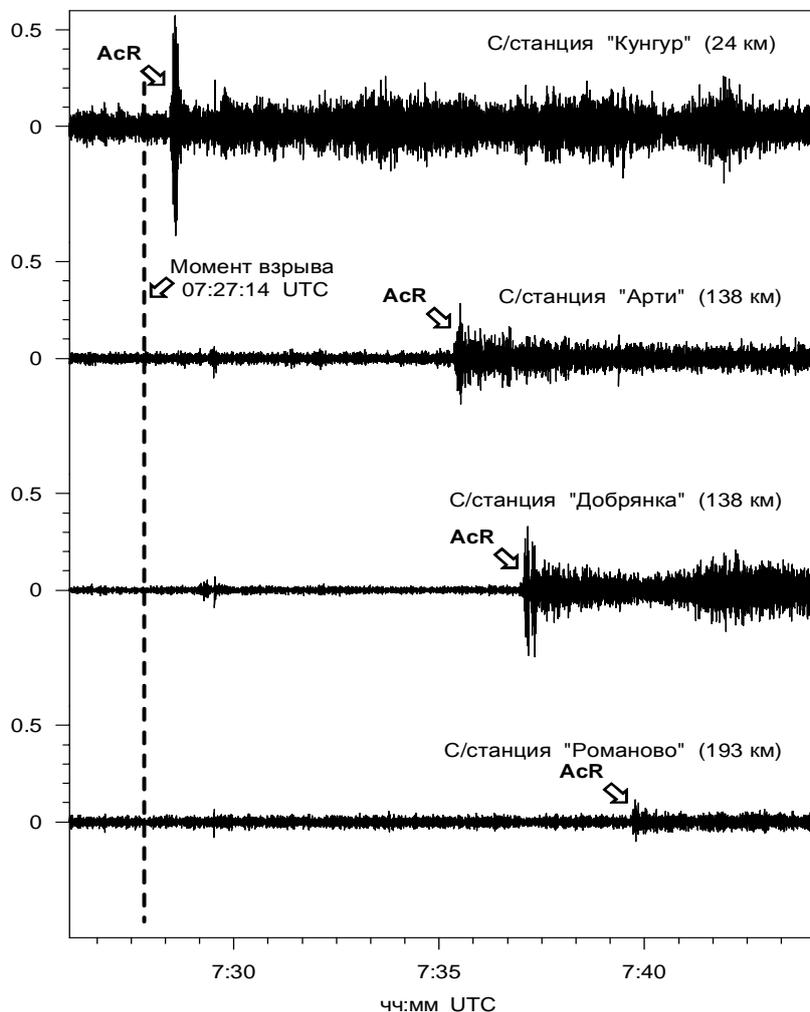


Рис. 1. Сейсмограммы взрыва в Березовском районе Пермской области на газопроводе «Уренгой –Петровск» 12 января 2004 г. (вертикальные компоненты)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оценка и контроль природной и техногенной сейсмичности и прогноз сейсмической опасности для территории Западного Урала: Отчет по результатам работ по договору № 26/99 с главным Управлением природопользования администрации Пермской области / Горный институт УрО РАН; рук. Маловичко А.А.; исполн. Маловичко Д.А. и др. – Пермь, 2003. – 100 с.

ОСОБЕННОСТИ ВАРИАЦИЙ МИКРОСЕЙСМИЧЕСКИХ ШУМОВ В КАЛИЙНОМ РУДНИКЕ

Сейсмологический мониторинг на Верхнекамском месторождении калийных солей (ВКМКС) за период 1995-2004 гг. дал большое количество уникальной информации об особенностях микросейсмического режима на территории шахтных полей калийных рудников [4].

Целью проводимых исследований состояла в выявлении корреляционной связи параметров фоновых микроколебаний в узких частотных интервалах в результате внешнего силового воздействия на среду. Источники микросейсм принято разделять на экзогенные и эндогенные. К первым относятся: антропогенные (в частности техногенные) и природные шумы - от ветра, циклонов, волнения моря и даже грозовой деятельности. Эндогенные шумы связаны с внешним для данного участка среды воздействием (сейсмическая эмиссия от лунно-солнечных приливов, землетрясений и взрывов). Так же они отражают свойства и напряженно-деформированное состояние данного участка, являясь свидетельством неоднородности и энергонасыщенности геофизической среды [6].

Детальный анализ имеющейся информации позволил выявить основные особенности микросейсмического режима в калийном руднике в условиях влияния различных техногенных факторов [1, 2, 3]:

1. Выявлены монохроматические колебания, генерируемые горно-шахтным оборудованием, и случайный шум, вызванный движением транспорта на уровне горных выработок или железнодорожного транспорта на дневной поверхности;

2. Наблюдения в горных выработках характеризуются меньшими амплитудами скоростей смещений, чем при наблюдениях, проведенные над калийным рудником;

3. Вариации шумов в горной выработке имеют отличный характер от пунктов наблюдения в градопромышленных агломерациях, где наблюдается явный антропогенный «суточный ход»;

4. Сопоставление спектров мощностей микросейсмических шумов не показало наличия сезонных вариаций в калийном руднике.

Для выбора частотных интервалов, наименее отягощенных промышленными помехами, проводился анализ спектров мощности микросейсмических шумов (рис.1) и траектории движения частиц среды (рис.2).

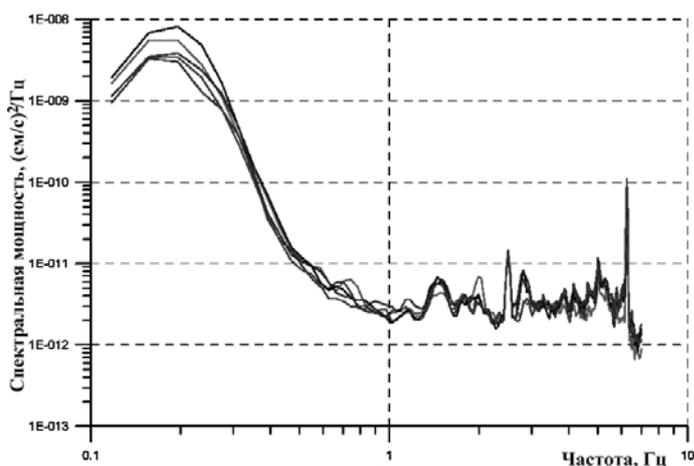


Рис. 1. Спектры мощности микросейсмических шумов в горной выработке

Техногенные пики частотно-устойчивы во времени, вариации частоты могут составлять 0.05 - 0.1 Гц. В интервалах частот техногенных максимумов спектра (рис. 2а) видно, что движение частиц

поляризовано и выдержано во времени по направлению. Для диапазона частот свободных от техногенных помех характерной особенностью является хаотичная, заметно изменяющаяся во времени поляризация (рис. 2б). Вариация таких пиков может быть более 0.3 -0.4 Гц. Возможно, подобные пики и их характеристики определяются блоковым строением среды и их резонансными свойствами [5].

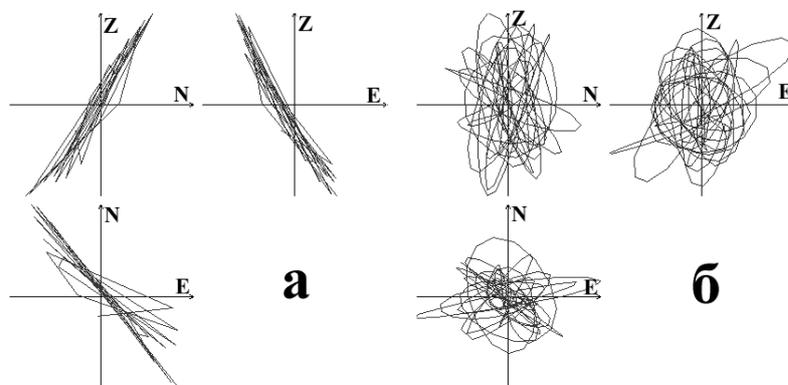


Рис. 2. Поляризационные диаграммы для микросейсмических колебаний в частотном диапазоне 6-7 Гц (а) и 1-2 Гц (б)

Анализ структуры поля микросейсмических шумов [3] позволил наименее отягощенные помехами диапазоны: 1-2 Гц и 3-4 Гц.

Для более детального изучения вариаций в калийном руднике анализировались графики среднеквадратических значений амплитуд скоростей смещения для временного интервала более 300 дней. Оценка амплитуд проводилась в скользящем получасовом окне. Выборки тщательно просматривались для исключения из выбранного участка записи землетрясений. Для полученных временных рядов были рассчитаны спектры. По результатам спектрального анализа можно выделить 8 и 12 – часовую, а также 24-часовую периодичность. 8 часовая вариация связана с трехсменным графиком работы рудника. Так же выделились более низкочастотные гармоники 7-7.5, 16.3, 30-31, 68 и 110-120 суток (рис. 3). Выбранная продолжительность временных рядов не позволяет судить о более низкочастотных колебаниях уровня микросейсмического фона.

Была предпринята попытка поиска подобных вариаций не только по микросейсмическим данным, но и по данным сейсмической активности на калийных рудниках.

Опираясь на данные сейсмологического мониторинга для трех рудников ВКМКС, был выполнен расчет спектральной мощности сейсмоактивности. Анализ представленных спектров позволяет заключить, что в целом характер долгосрочных изменений одинаковый на всех трех рудниках – наблюдаются максимальные амплитуды вариаций сейсмичности, имеющих период 2.7 года, что говорит о влиянии региональных факторов, одинаковых в пределах одного месторождения. Второстепенные максимумы на спектрах отмечаются на периодах 110-130 суток для рудников СКРУ и 180-250 суток – для БКРУ-1. Различие в периодах второстепенных максимумов свидетельствует о наличии локальных факторов, оказывающих влияние только в пределах шахтного поля или группы шахтных полей.

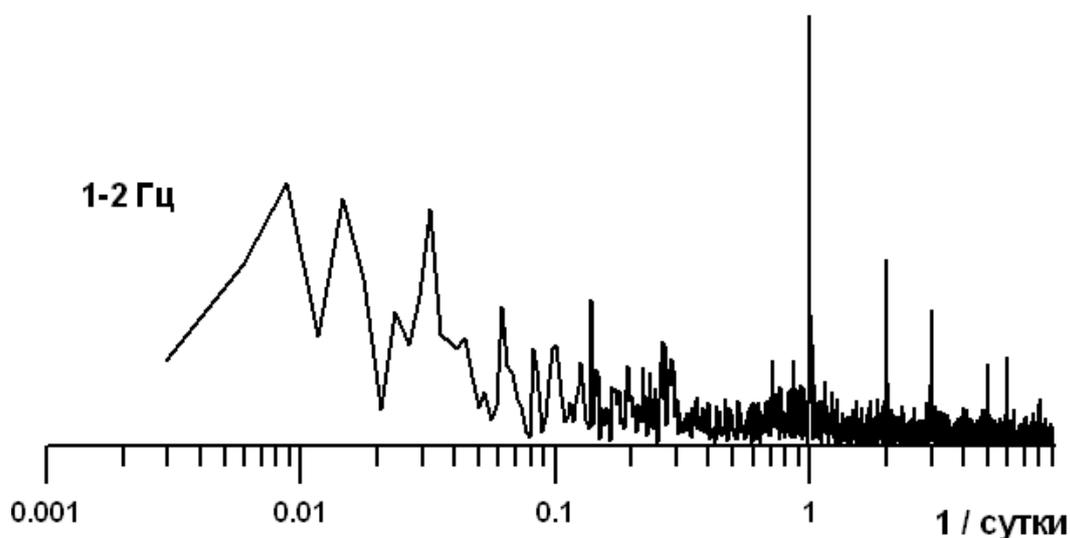


Рис. 3. Спектры вариаций микросейсмических шумов в горных выработках калийного рудника СКРУ-2 (г. Соликамск)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванова Ю.В. Исследование вариаций сейсмического фона на Верхнекамском месторождении калийных солей // Вторая Уральская молодежная науч. школа по геофизике. – Пермь: ГИ УрО РАН, 2001. - С. 50-51.
2. Иванова Ю.В. Особенности вариаций микросейсмических шумов в зонах градопромышленных агломераций // Современные проблемы геофизики: Пятая Уральская молодежная науч. школа по геофизике. - Екатеринбург: УрО РАН, 2004. - С. 51-55.
3. Иванова Ю.В. Изучение микросейсмических шумов в калийном руднике // Геодинамика и геологические изменения в окружающей среде северных регионов: Материалы Всероссийской конф. с международным участием: В 2т. Т. I. - Архангельск: ИЭПС УрО РАН, 2004. – С. 341-344.
4. Маловичко А.А. Развитие сети сейсмических наблюдений на территории Западного Урала // Материалы науч. сессии Горного института УрО РАН по результатам НИР в 2000 году. Пермь: ГИ УрО РАН, 2001. - С. 175-177.
5. Спивак А.А., Кишкина С.Б. Исследование микросейсмического фона с целью определения активных тектонических структур и геодинамических характеристик среды // Физика Земли. - 2004. №7. – С. 35-49.
6. Юдахин Ф.Н., Капустян Н.К. Микросейсмические наблюдения. – Архангельск: ИЭПС УрО РАН, 2004. - 64 с.

ОЦЕНКА ЭНЕРГИИ РЕГИОНАЛЬНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ ПО МАТЕРИАЛАМ ЗАПАДНО-УРАЛЬСКОЙ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКОЙ СЕТИ

С 1999 года лабораторией природной и техногенной сейсмичности целенаправленно проводится инструментальное изучение сейсмоактивности Уральского региона. Изучение базируется на материалах развернутой в Пермском крае сейсмологической сети, включающей 6 современных цифровых сейсмических станций.

В 2004 году в результате обработки данных сейсмологической сети выделено более 4500 сейсмических событий [2]. 77% событий приходится на долю удаленных землетрясений, 20% - на долю взрывов на карьерах и рудниках, 3% составляют региональные землетрясения и микроземлетрясения. Именно события последней, самой малочисленной группы, по сути, являются основной целью проводимых наблюдений.

Для региональных землетрясений и микроземлетрясений, качественно зарегистрированных несколькими станциями, определяются параметры источника – координаты эпицентра, время инициации и магнитуда. Нами выполнено опробование оценки еще одной характеристики очага - сейсмической энергии E_S . Данная величина, так же, как и магнитуда, характеризует «силу», «интенсивность» процессов в очаге, однако, в отличие от последней, имеет четкий физический смысл.

Из многообразия методов оценки сейсмической энергии событий нами были выбраны два – метод Т.Г. Раутиан [1] и метод очаговых спектров [3].

Метод Т.Г. Раутиан, получивший широкое распространение в нашей стране, включает следующие этапы:

- вычисление плотности энергии в P- и S-волнах для каждой из сеймостанций (осуществляется путем численного интегрирования фрагментов записей скоростей смещений);
- пересчет плотностей энергии с каждой из станций на, так называемую, референц-сферу - сферу радиусом 10 км, окружающую очаг (производится на основе эмпирических зависимостей затухания сейсмической энергии с расстоянием);
- расчет потока энергии через референц-сферу.

В основе метода очаговых спектров лежит представление об источнике сейсмического события (тектонического землетрясения) как о динамически развивающейся на некоторой плоскости подвижке. Спектры записей смещений в объемных сейсмических волнах, излучаемых данным очагом, имеют универсальные особенности – низкочастотное плато и спад на некоторой (граничной) частоте. По характеристикам спектра (уровню плато и граничной частоте) можно вычислить выделившуюся сейсмическую энергию.

Описанные методы оценки E_S были программно реализованы нами, а их работоспособность проверена на серии модельных примеров. Суть проверки заключалась в следующем. Первоначально, на основе геолого-геофизических данных была построена скоростная и плотностная модель среды Уральского региона в виде слоистого полупространства. Далее был задан очаг тектонического землетрясения в виде сдвиговой трещины. Для различных направлений и удалений от очага (от 20 до 600 км) рассчитывались сейсмические записи. По рассчитанным

записям с помощью реализованных методов оценивались величины E_S . Полученные оценки E_S сопоставлялись с истинным значением сейсмической энергии модельного очага.

С помощью реализованных методов была выполнена оценка E_S для 16 крупных региональных землетрясений, произошедших в Уральском регионе и соседних областях в 2004 году.

Описанные методы также использовались при научно-исследовательских работах «Исследование энергетической классификации сейсмических событий на шахтах ОАО «Севуралбокситруда» по результатам совместной обработки и анализа данных Западно-Уральской сейсмологической сети и шахтной сети СУБРа» по договору с ОАО «Севуралбокситруда» (г.Североуральск, Свердловская область)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Раутиан Т.Г. Затухание сейсмических волн и энергия землетрясений. I // Труды ИССС АН Таджикской ССР, Т. VII, 1960. – С. 41-67.
2. Оценка и контроль природной и техногенной сейсмичности и прогноз сейсмической опасности для территории Западного Урала: Отчет по результатам работ по договору № 26/99 с главным Управлением природопользования администрации Пермской облсти / Горный институт УрО РАН; рук. Маловичко А.А.; исполн. Маловичко Д.А. и др. – Пермь, 2003. - 108 с.
3. Hanks T.C., Wyss M. The use of body-wave spectra in the determination of seismic-source parameters // Bulletin of the Seismological Society of America V.62. 1972. N2. – P. 561-589.

Л.В. Некрасова

ВАРИАЦИИ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ НА ЗАПАДНОМ УРАЛЕ

В рамках иерархической модели геофизической среды естественно обсуждение приливной силы как циклической нагрузки. Сопоставление вариаций приливной силы с сейсмической активностью Луны, корреляция чандлерова качания полюса с приливным воздействием и с сейсмичностью позволяет рассматривать эти процессы как взаимообусловленные, а, следовательно, приливную силу как одну из причин напряженного состояния Земли.

Коснемся работ по напряженному состоянию земной коры под действием приливной силы. Определенный этап исследований напряженного состояния земной коры под действием приливной силы уже пройден. В свое время А. Надаи остановился на изучении приливов, так как не видел другого источника силового воздействия.

А. Надаи на основе элементарной теории оболочек рассмотрел эпюры главных касательных и нормальных напряжений, обусловленные приливной силой Луны в тонкой оболочке пород Земли, которая представляет собой замкнутую оболочку постоянной кривизны. Это так называемые «мембранные напряжения», отвечающие равномерному распределению напряжений по толщине оболочки. «Напряжения изгиба», уравнивающие изгибающий и крутящий моменты на единицу ширины, пе-

редаваемые оболочкой, в исследованиях А. Надаи не рассмотрены, так как для замкнутой оболочки постоянной кривизны можно пренебречь напряжениями изгиба.

Исследования А. Надаи продемонстрировали общие закономерности напряженного состояния земной оболочки под действием приливного воздействия Луны и Солнца. Из рассмотрения «мембранной модели» следует, что оболочка земной коры находится в постоянно поддерживаемом извне знакопеременном напряженном состоянии; основная периодичность изменения напряженного состояния близка к половине суток. Так как Луна и Солнце изменяют свое взаимное расположение, в их приливном воздействии на вращающуюся Землю проявляется эффект интерференции. За полусуточный цикл напряжение, вызванное приливной волной на экваторе, изменяется в диапазоне $5 \cdot 10^4$ дин*см²/цикл. Приливные силы симметричны относительно экватора, напряженное состояние оболочки имеет также экваториальную симметрию. Эпюры напряженного состояния земного шара для «мембранной модели» имеют вид концентрических окружностей. Амплитуда вариаций напряжений максимальна в экваториальных областях и минимальна на полюсах.

«Мембранная модель» выделяет, как особенность, моменты сизигий и квадратур, когда оси эллипсоидов деформации имеют почти одинаковую ориентировку, и когда несовпадение осей составляет $\pi/2$.

На основе мембранной модели связь приливной силы с сейсмичностью рассматривается с точки зрения «триггера», т.е. приливному изменению напряжения отводилась роль «последней капли», переполняющей «чашу» накопленного тектонического напряжения. Однако «мембранная модель» не дает объяснения накоплению напряжений.

На Луне слабые глубинные лунотрясения соответствуют перепаду напряжений в приливной волне, поэтому эти события носят характер слабого потрескивания, близкого к моментам полнолуния-новолуния. Накопление больших напряжений при этом не происходит.

Моменты землетрясений должны были бы сопутствовать полнолуниям и новолуниям, но такой простой взаимосвязи на Земле не наблюдается. Здесь уместно напомнить, что еще в 1848 г. профессор Ал. Перре опубликовал исследования о связи частоты землетрясений с фазами и перигейным положением Луны. Частота землетрясений повышается к сизигиям; их частота увеличивается, если в то же время Луна близка к перигею; землетрясения происходят гораздо чаще в моменты прохождения Луной местного меридиана, чем на ее восходе и заходе. Проверкой установленных закономерностей занималась специальная комиссия Французской Академии наук. Комиссия признала закономерности достоверными.

Первые два закона Перре получили полное подтверждение и дальнейшее углубление в работах русского геофизика Г.П. Тамразяна, выполненных на большом статистическом материале. Г.П. Тамразян рассмотрел распределение во времени Приказбекских, Крымских и Туркменских землетрясений. Изучение Крымских катастрофических землетрясений с 1802-1941 г. приводит Г.П. Тамразяна к выводу, что в двухдневных интервалах частота их в перигее выше, чем в апогее, в 5 раз. В случаях совпадения перигея и сизигия сейсмичность значительно выше, чем в апогее и квадратурах. Число Приказбекских землетрясений возрастает при нахождении Земли в благоприятных для землетрясений космических условиях (новолуние или полнолуние и перигей) и резко уменьшается при нахождении Земли в наименее благоприятных космических условиях (первая или последняя четверть и апогей). Совершенно аналогичные закономерности получены Г.П. Тамразяном при изучении землетрясений во времени в Туркмении. Г.П. Тамразян исследует распределение землетрясений в Тбилиси с 1893 по 1950 г. и землетря-

сений Закавказья с 1899 по 1951 г. в зависимости от изменения лунно-солнечных приливных явлений. Для Закавказья число землетрясений в сизигиях и перигее в трехдневных интервалах было больше, чем в квадратурах и апогее в 3,5 раза, а в интервале одного дня в 16 раз. Продолжая исследование, он показывает, что частота сейсмической активности северо-западного обрамления Тихого океана за период с 1909 по 1944 г. также имеет непосредственную и достаточно высококорреляционную связь с изменением лунно-солнечных приливных явлений.

Нами проведен анализ карстовых обрушений пород земной поверхности на территории г. Кунгура с 1969 по 2004 год и обрушений, имевших место в Кунгурской ледяной пещере за последние 75 лет. И сопоставлены моменты возникновения данных событий с изменением силы приливного воздействия Луны и Солнца.

Все анализируемые обрушения нанесены на специальную диаграмму, по вертикальной оси которой отложено время между событием и прохождением Луны через перигей орбиты, а по горизонтальной оси - фазы Луны в момент события. На обеих осях совмещены симметричное положение фаз Луны с положением Луны на орбите вокруг Земли. Анализ диаграммы, которая построена для полных сидерических и синодических циклов, позволил заключить, что обрушения сконцентрированы в определенных поясах. Выделенные пояса имеют одинаковую ширину – 7 суток. Диаграмма показывает, что большинство сейсмических событий происходит в те моменты, когда синодический и сидерический циклы совпадают по фазе или находятся в противофазе (т.е. в те моменты, в которые один из сизигийных приливов усилен за счет перигейного прилива). Промежуточные фазовые сдвиги содержат значительно меньшее количество событий.

Таким образом, наибольшее число обрушений произошло в те моменты, когда синодический и сидерический циклы были в пределах одной недели от фазы синхронизации (новая луна во время перигея) и во время «противофазного» соотношения синодического и сидерического циклов (полная Луна в перигее), чем во всех других фазовых сдвигах. С помощью характеристики χ^2 проведена оценка статистической значимости полученных результатов.

Д.Ю. Шулаков

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИКРОСЕЙСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ

Газотранспортная система ООО «Пермтрансгаз» на территории Западно-Уральского региона (в пределах Пермской области и республики Удмуртия) представлена разветвленной сетью магистральных газопроводов и газопроводов-отводов, имеющих общую протяженность около 10500 км и включающих 15 компрессорных и более 120 газораспределительных станций. Поскольку газопроводные системы осуществляют транспортировку токсичного продукта под высокими эксплуатационными давлениями (до 7,5 МПа), то их эксплуатация в условиях воздействия разных природных и техногенных факторов неизбежно сопряжена с риском возникновения различного рода аварийных ситуаций. Специфической особенностью магистральных газопроводов как протяженных инженерных сооружений, является то, что разные их участки расположены в зонах с существенно различными геологическими и геодинамическими условиями.

Проблема повышения технической безопасности и надежности эксплуатации газопроводных систем уже полтора десятка лет является одной из главных в газовой отрасли. Однако, несмотря на реализацию целого ряда научно-технических отраслевых программ, уровень аварийности на магистральных газопроводах не снижается. Одной из главных причин этого являются постоянно увеличивающиеся сроки их эксплуатации и, соответственно, старение всего комплекса оборудования. В настоящее время (Сафонов и др., 2003) 20-летний возрастной рубеж перешло 34% всех газопроводов; 30-летний (условно нормативный срок службы) – около 15%; 40-летний – 3,5%.

Все отмеченные выше особенности эксплуатации магистральных газопроводов и связанные с ними проблемы характерны и для газотранспортных систем Западного Урала. За период 1985 – 2004 гг. на магистральных газопроводах и отводах ООО «Пермтрансгаз» произошло 36 аварий. При этом в последние годы особенно часто стали фиксироваться аварии, связанные со стресс-коррозией металла труб или коррозионным растрескиванием под напряжением (КРН).

Хотя в последние годы достигнут существенный прогресс в понимании и описании целого ряда металлургических и электрохимических аспектов развития стресс-коррозионных процессов (Отт, 1998; Харионовский, 2000), многие другие факторы, и, прежде всего те из них, которые характеризуют условия геологической среды, остаются не исследованными.

В частности, до настоящего времени практически не изучено влияние на стресс-коррозию особого напряженного состояния, характерного для магистральных газопроводов. В работе (Мостовой и др., 1998) оценено воздействие фактора вибрации на рассматриваемый процесс. Показано, что существенный вклад в развитие стресс-коррозии магистральных газопроводов могут внести вибрационные нагрузки, присущие таким трубопроводным системам. Это связано как со спецификой перекачиваемого продукта, так и с особенностями конструкции высокооборотистых газоперекачивающих агрегатов, являющихся мощными генераторами вибрации трубопроводных систем. Исследованиями, в частности, установлено, что вибрации малой амплитуды могут играть роль спускового механизма в процессе стресс-коррозии, особенно в периоды отключения катодной поляризации на срок более одних суток, что возможно в практике эксплуатации магистральных газопроводов.

В 2004 г. лабораторией ПТС были проведены исследования, направленные на изучение как уровня природных микросейсм в районе трассы магистрального газопровода, так и технологических вибраций труб. Для измерений был использован мобильный сейсмологический комплекс ИСК-3 с комплектом высокочувствительных датчиков СМЗ-КВ. Основной целью являлось детальное изучение структуры поля микросейсмических колебаний и их возможной связи с техническим состоянием магистрального газопровода. Работы по детальной микросейсмической съемке проводились над трассой газопровода «Ямбург – Елец-1» на участке протяженностью 4.7 км от выхода с КС «Кунгурская», включающем в том числе и Кунгурский геодинамический полигон.

Исследования выполнялись в период с марта по май 2004 г. Измерения были сделаны как в процессе эксплуатации газопровода, так и во время его остановки для выполнения работ по капитальному ремонту со сплошной переизоляцией.

Первоначально были проведены работы по изучению тонкой структуры поля микросейсм, распространяющихся вблизи трассы газопровода. Эти исследования необходимы для оптимизации методики проведения полевых измерений, а

также для более точной интерпретации данных микросейсмической съемки (МСС).

Знание особенностей распространения технологических микросейсмических колебаний в непосредственной близости от трассы газопровода необходимо для оптимизации параметров систем наблюдения и более точной интерпретации полученных результатов. С целью установления этих особенностей был отработан профиль МСС в крест пролегания трубы с шагом между пикетами от 0.5 (вблизи оси) до 2 м. Как удалось установить, наиболее быстро с расстоянием убывает интенсивность высокочастотных колебаний. По мере понижения частоты вибраций коэффициент их затухания снижается.

Особое внимание следует обратить на волны в диапазоне 6 – 9 Гц, так как по мере удаления от оси газопровода их интенсивность практически не убывает. Это позволяет предположить, что они представляют собой плоские волны поверхностного типа, распространяющиеся перпендикулярно газопроводу. Из этого следует, что в определенных частотных диапазонах могут регистрироваться интерференционные вибрации от нескольких соседних газопроводов. Для их подавления следует использовать специальные системы обработки, например, двумерную пространственно-временную фильтрацию.

Анализ изменения суммарной интенсивности технологических вибраций вдоль поперечного профиля показал, что наибольшая скорость убывания амплитуды колебаний наблюдается на расстоянии 2–3 м от оси газопровода. Ширина зоны над осью трубы, в которой уровень микросейсм относительно стабилен, не превышает двух метров. Следствием этого является необходимость при проведении работ по методике МСС максимально точно позиционировать датчики над осью газопровода.

После того, как были установлены основные характерные особенности поля микросейсмических колебаний над трассами МГ, была скорректирована методика полевых наблюдений и начаты собственно работы по детальной микросейсмической съемке. Они состояли из трех этапов.

Первый этап (рекогносцировочный) включил проведение МСС с шагом между сейсмоприемниками в 100 м. По результатам этих наблюдений были предварительно выделены 6 участков, характеризовавшихся относительно повышенным уровнем микросейсмических колебаний.

На втором этапе были проведены более детальные профильные измерения. Расстояния между точками наблюдения составляли 20 м для участков с повышенным микросейсмическим фоном и 50 м – для остальных зон обследования. При анализе полученных данных были подтверждены 4 участка, характеризовавшихся наличием аномалий микросейсмических колебаний разной степени достоверности.

Поскольку выделенные аномальные участки отличались небольшими пространственными размерами (сопоставимыми с шагом наблюдений), то был проведен третий этап работ – детализационный. На этом этапе замеры проводились только в пределах выделенных аномалий и при этом шаг между точками наблюдений составил 5 м. По результатам измерений были уточнены границы участков аномальных вибраций и оценены их основные количественные характеристики. Один из участков, характеризовавшийся наименьшей амплитудой аномалии, по результатам детальной съемки был переведен в разряд «нормальных». В процессе детализационных работ было установлено, что выделенные аномалии имеют сложную структуру, т.е. состоят из 2-3 локальных зон с размерами от 5 до 40 м.

Достоверность выделения аномальных зон по данным детальной микросейсмической съемки подтвердилась при проведении в июне-июле 2004 г. работ по капитальному ремонту МГ «Ямбург – Елец-1» со сплошной переизоляцией. На исследованном участке было заменено 4 дефектных трубы, три из которых попали на выделенные зоны аномально высокого уровня микросейсм.

Таким образом, установлено, что микросейсмическая съемка позволяет довольно эффективно выделять потенциально аварийно-опасные участки на трассах магистральных газопроводов. Вместе с тем, необходимы дальнейшие исследования, направленные на совершенствование методики наблюдений и интерпретации данных, а также на установление механизмов влияния микросейсмических колебаний на техническое состояние труб магистральных газопроводов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мостовой А.В., Абдуллин И.Г., Гареев А.Г. Стресс-коррозия магистральных газопроводов // Горный вестник. - 1998. - № 4. – С. 41-43.
2. Отт К.Ф. Стресс-коррозия на газопроводах. Гипотезы, аргументы и факты: Обзорная информация. – М.: ИРЦ Газпром, 1998. – 73 с.
3. Харионовский В.В. Надежность и ресурс конструкций газопроводов. – М.: ОАО «Издательство «Недра», 2000. – 467 с.
4. Комплексное геофизическое и геодинамическое обследование территорий прокладки и трасс газопроводов: Отчет по результатам выполнения работ по договору № 142.43.09 с ООО «ВНИИГАЗ» - Москва: фонды ООО «ВНИИГАЗ», 2004. – 58 с.

ГЕОМЕХАНИКА

А.А. Барях

ГЕОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ КАРСТООПАСНОСТИ

Строительство гражданских и промышленных объектов на закарстованных территориях сопряжено с опасностью их разрушения под воздействием карстовых процессов. На этих территориях строительными нормами и правилами [1,2] предусматривается проектирование сооружений с учетом возможности реализации карстовых деформаций – провалов и оседаний земной поверхности. Однако данные нормативные документы не располагают строгими критериями оценки опасности воздействия карстовых процессов на здания и сооружения. Они ограничены вероятностно-статистическими подходами, предусматривающими районирование территории по интенсивности карстовых явлений [1, 3].

Вместе с тем, воздействие карстовых процессов на здания и сооружения по своему механизму аналогично деформированию объектов под влиянием подземных горных разработок. При этом для подработанных территорий, в отличие от закарстованных, существует четкая нормативная база оценки опасности воздействия горных работ на сооружения и природные объекты [4, 5 и др.]. В ее основу положен сравнительный анализ прогнозных (расчетных) параметров деформирования земной поверхности, обусловленных подземными горными разработками, с соответствующими предельными показателями объекта. Прогнозные параметры, как правило, устанавливаются либо путем обобщения экспериментальных наблюдений за сдвижением земной поверхности на конкретных месторождениях, либо определяются теоретическими расчетами. Предельные показатели деформирования земной поверхности под сооружениями вычисляются в зависимости от назначения зданий, этажности, формы, конструктивных особенностей (материал и толщина стен, тип перекрытий), износа и грунтовых условий.

Предлагается распространить подход, используемый на подработанных территориях, для оценки опасности воздействия карста на здания и сооружения. Безусловно, при этом возникает ряд весьма существенных осложнений. В отличие от горных работ, где известна топология выработанного пространства и время, прошедшее после выемки полезного ископаемого, анализ деформаций, обусловленных карстовыми процессами, связан с необходимостью пространственной локализации зон карстовой нарушенности и оценкой характера их развития во времени. Тем не менее представляется, что только с данных позиций можно количественно оценить реальную степень карстоопасности.

Реализация предложенной схемы проводилась для условий центральной части города Кунгура, расположенной в междуречье Сылвы и Ирени. Здесь в результате развития карстовых процессов отмечены провалы на земной поверхности, наблюдаются интенсивные деформации зданий и сооружений, вплоть до образования сквозных трещин.

В пределах площади исследований с целью локализации зон карстогенной нарушенности выполнены площадные инженерные сейсморазведочные измерения. По результатам их интерпретации выделены три типа карстогенной нарушенности, характеризующие различные стадии ее развития. Первый тип отражает конечную стадию растворения карстующихся пород с реализованным обрушением вышележащих отложений в область растворения. Третий тип описывает начальную стадию формирования карстогенной нарушенности - появление полости. Второй тип занимает промежуточное положение, когда за счет растворения вмещающих пород полость в карстующихся породах заполняется, но устойчивость перекрывающих отложений сохраняется. Все типы карстогенной нарушенности подтверждены бурением.

На данном этапе геомеханических исследований анализировалась нагрузка на здания только за счет деформирования приповерхностной части разреза вследствие развития карстовых процессов. Предельные их проявления в виде образования провалов на земной поверхности в геомеханических расчетах не рассматривались.

Обзор нормативных документов [1, 4, 5] позволил выявить параметры, характеризующие воздействие деформирования земной поверхности на здания и сооружения: горизонтальные деформации сжатия и растяжения, наклоны и кривизна мульды оседаний, скорости деформаций. Для условий развития карстовых процессов методами математического моделирования выполнялась предварительная оценка критериальной значимости каждого из этих показателей. В результате тестовых расчетов установлено, что наиболее значимым критерием воздействия карстовых процессов на здания и сооружения является достижение горизонтальными деформациями земной поверхности предельных значений.

Таким образом, оценка негативных последствий развития карста может быть осуществлена на основе сопоставления максимальных (сжатие или растяжение) расчетных горизонтальных деформаций земной поверхности и соответствующих предельных деформаций под конкретными объектами.

Предельные деформации земной поверхности под зданиями и сооружениями вычислялись согласно рекомендациям [4]. Определение расчетных деформаций осуществлялось методами математического моделирования. Для генерации корректной трехмерной расчетной схемы средствами ГИС проводилась интеграция исходных данных различной природы. В единую базу геоданных включались следующие тематические слои: геологическое строение массива и механические свойства основных элементов верхней части разреза (на основе результатов бурения инженерных скважин); зоны карстовой нарушенности в соответствии с их типом и пространственным положением (по результатам сейсморазведочных измерений); информация о зданиях и сооружениях; стандартные слои рельефа, гидрографии, адресного пространства и подземных коммуникаций. Это позволило создать трехмерную цифровую модель поверхности и подземного пространства, представляющую информационно-параметрическую основу для построения геомеханической расчетной схемы урбанизированной территории.

Граничные условия задавались, исходя из начального литостатического напряженного состояния массива: горизонтальные перемещения на боковых поверхностях и вертикальные – на нижней поверхности принимались равными нулю. Верхняя (земная) поверхность подвергалась воздейст-

вию распределенной нагрузки, характеризующей вес конкретных зданий и сооружений. Расчетная область находилась в условиях действия массовых сил, интенсивностью γ_i (γ_i - удельный вес соответствующего элемента геологического разреза).

Физико-механические свойства приповерхностной части разреза определялись по результатам испытаний керна инженерно-геологических скважин.

При прогнозе деформаций земной поверхности предполагалась следующая схема развития карстовых процессов. До строительства зданий на участке карстовой полости (3 тип карстогенной нарушенности) существовала зона интенсивной трещиноватости гипсовой толщи, аномалия 2 типа идентифицировалась с полостью, а нарушенность 3 типа - соответственно со 2 типом карстового явления. Таким образом, в расчетах постулировался последовательный переход карстовой нарушенности одного типа в другой, усиливающий ее воздействие на гражданские и промышленные объекты. Реализация такого подхода требовала проведения многовариантных расчетов на базе изменяющегося параметрического обеспечения.

Математическое моделирование осуществлялось методом конечных элементов с использованием девятиузловых тетраэдров. По результатам численного решения определялось поле дополнительных перемещений и деформаций, обусловленных развитием карстовой нарушенности и наложенным за этот период действием нагрузок от зданий и сооружений. Результаты многовариантных геомеханических расчетов объединялись в единую реляционную базу данных, что позволило при визуализации и анализе выполнять выборки со сложными вложенными условиями (по горизонтам, по параметрам напряженно-деформированного состояния) на большом количестве информации (более 300000 узлов). Интегрирование результатов расчетов в ГИС-проекты производилось стандартными средствами доступа к данным в виде SQL-запросов и ADO-соединений.

Количественная оценка опасности воздействия карста на здания и сооружения выполнялась двумя способами. Первый из них основывался на определении отношения максимальных, в пределах зданий, расчетных горизонтальных деформаций земной поверхности (ε_{\max}) к соответствующим предельным значениям (ε_{np}). Величину данного отношения можно трактовать, как максимальный показатель опасности (k_{\max}). Опасность негативного влияния карста существует, если $k_{\max} \geq 1$. Чем больше величина k_{\max} , тем выше опасность.

В рамках второго способа путем интегрирования по площади конкретного здания вычисляются расчетные средние горизонтальные деформации земной поверхности (ε_{cp}). В этом случае вводится понятие среднего показателя опасности (k_{cp}) воздействия карста, который представляет собой отношение средних деформаций к предельным.

Следует отметить, что анализ воздействия карста на поверхностные объекты по максимальному показателю, априори дает завышенные оценки опасности. Более предпочтительным представляется использование, так называемого, среднего показателя, поскольку предельные деформации земной поверхности под зданиями и сооружениями характеризуют объект в целом. Именно такой способ, основанный на осреднении расчетных горизонтальных деформаций, рекомендуется производить в Правилах [4].

Результаты районирования зданий и сооружений центральной части г. Кунгура по степени карстоопасности показывают, что с позиции верхних оценок (максимальный показатель), негативные последствия прогнозируются для 29 объектов. При использовании в качестве критерия опасности среднего показателя их количество сокращается до 21.

Отметим, что практически все сооружения, в которых визуально зафиксированы трещины и проявление деформаций, по результатам геомеханических прогнозов, относятся к опасным. Исключение составляют лишь несколько объектов. Причем для двух из них оценки опасности по максимальному показателю близки к критическим значениям (k_{\max} составляет, соответственно 0,96 и 1,0).

Расхождение фактического состояния объектов с данными геомеханических прогнозов может быть обусловлено несколькими причинами. Первая из них, наиболее тривиальная, нарушение зданий не связано (или связано не только) с карстовыми процессами. Вторая причина определяется детальностью геофизических исследований, которые были ориентированы на районирование участка в целом, а не на обследование конкретных объектов. Пространственная локализация зон карстогенной нарушенности производилась путем интерполяции данных, полученных по системе сейсморазведочных профилей, что, безусловно, сказалось на достоверности определения их границ.

Таким образом, предложенный подход к анализу карстоопасности урбанизированных территорий представляется достаточно эффективным и позволяет на количественном уровне оценить опасность воздействия карстовых процессов на здания и сооружения. При этом для зданий и сооружений, отнесенных к классу потенциально опасных, целесообразно проведение дополнительных детализационных геофизических исследований, на основе которых могут быть построены более адекватные физико-геологические модели локальных участков, отражающие не только типы карстогенной нарушенности, но и латеральную изменчивость свойств элементов приповерхностной части разреза. По результатам этих работ выполняются уточненные геомеханические расчеты с целью конкретизации степени опасности и разработки исходных данных для принятия конструктивных мер защиты объектов от негативного влияния карстовых процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СНиП 2.02.01-83* (2000). Основания зданий и сооружений. – М., 2000.
2. СНиП 2.01.15-90. Инженерная защита зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения проектирования. – М., 1990.
3. СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. – М., 2000
4. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях. – С.-П., 1998.
5. Указания по защите рудников от затопления и охране подрабатываемых объектов в условиях ВКМКС. СПб., 2004.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ КРИТЕРИЕВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ НАГРУЖЕНИЯ МЕЖДУКАМЕРНЫХ ЦЕЛИКОВ

Одним из основных показателей, определяющих параметры отработки калийных пластов и выбор мер охраны рудников от затопления, является степень нагружения междукамерных целиков, которая характеризуется отношением нагрузки к несущей способности целика. Схема ее расчета регламентируется действующими нормативными документами – «Указаниями по защите рудников от затопления...» (приложение 1) [1]. При этом считается, что пласты имеют субгоризонтальное простирание, а междукамерные целики - относительно правильную форму. Данное допущение не является справедливым при наклонном залегании рабочих пластов, например, на участках развития флексурных складок.

Целью настоящей работы является определение эффективной степени нагружения междукамерных целиков на участках распространения флексурных складок.

Решение поставленной задачи осуществлялось в два этапа. На первом этапе выполнялся комплекс геомеханических расчетов, ориентированных на установление взаимосвязи степени нагружения междукамерных целиков с инвариантами его напряженного состояния. На втором этапе на основе выявленных закономерностей, проведена оценка коэффициента, корректирующего расчет степени нагружения междукамерных целиков на участках распространения флексурных складок.

Рассматривалось условие полной подработки крыльев флексурных складок. В этом случае основным геометрическим параметром складки, определяющим напряженное состояние междукамерных целиков, является угол ее погружения α .

Исходное напряженное состояние $\sigma(U_\gamma)$ ненарушенного горными работами соляного массива считалось гидростатическим: $\sigma_x^0 = \sigma_y^0 = \gamma H$, $\tau_{xy}^0 = 0$.

Степень нагружения междукамерных целиков представляет некоторый интегральный критериальный показатель их напряженного состояния, непосредственно не связанный с распределением в конструкции компонент тензора напряжений. В этой связи, как правило, расчет степени нагружения целиков производится по инженерным эмпирическим формулам для простых условий разработки: субгоризонтальное залегание рабочих пластов, периодическая система целиков и камер. Для условий ВКМКС расчетное значение степени нагружения определяется согласно действующему нормативному документу [1]:

$$C = \xi \frac{\gamma H_0}{b \sigma_n}, \quad (1)$$

где ξ - коэффициент, учитывающий изменение нагрузки на целики вследствие влияния различных горнотехнических факторов; γ - объемный вес пород (0.022 МН/м^3); l - межосевое расстояние; H_0 - максимальное значение расстояния от земной поверхности до кровли целиков на рассматриваемом участке отработки; b - расчетная ширина междукамерных целиков.

Расчетная несущая способность целиков σ_n оценивается по формуле

$$\sigma_n = k_f k_0 \sigma_0,$$

где коэффициент формы k_f - характеризует зависимость несущей способно-

сти от параметра $\lambda = b/m$ (m - высота целиков); k_0 - коэффициенты, определяющий агрегатную прочность; σ_0 - эквивалентная (приведенная) прочность на одноосное сжатие пород, слагающих целики.

Представим

$$\sigma_0 = \mu \sigma^{цел}, \quad (2)$$

где $\sigma^{цел} = \xi \frac{MH_0}{b}$ - средняя нагрузка на целики, тогда выражение (1) запишется следующим образом:

$$C = \frac{1}{\mu k_f k_0} \quad \text{или} \quad \mu C = \frac{1}{k_f k_0}. \quad (3)$$

Коэффициент k_0 в (3) корректирует величину прочности пород и, в целом, не зависит от параметров камерной системы разработки. Показатель μC будет полностью определяться отношением ширины целика к его высоте, т.е. коэффициентом формы.

Это открывает возможность установления количественной взаимосвязи между показателем μC и адекватными напряженному состоянию критериями прочности междукамерного целика. В качестве такого условия прочности целесообразно принять критерий наибольших касательных напряжений:

$$K_\tau = \tau_{\max} / \tau^{пред} = \frac{1}{2} \left[\sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4 \tau_{xy}^2} \right] / \tau^{пред}, \quad (4)$$

где $\tau^{пред}$ определяется по аналогии со стандартной методикой расчета целиков и соответствует одноосному напряженному состоянию: $\tau^{пред} = \sigma_0 / 2$.

Учитывая соотношение (2), представим (4) в виде

$$\mu K_\tau = 2 \tau_{\max} / \sigma^{цел}.$$

Многовариантное математическое моделирование изменения напряженного состояния междукамерных целиков в зависимости от параметров системы разработки (ширина и высота камер и целиков) позволило сделать вывод об устойчивой взаимосвязи показателя μC со значением параметра $\mu K_\tau = \mu K_\tau^*$, которое соответствует максимальной величине μK_τ , действующей по всей ширине целика.

Для установления корреляционной связи между параметром μK_τ^* и μC выполнена обработка результатов всех численных экспериментов, на основании чего сделан вывод о количественном соответствии степени нагружения междукамерных целиков C и параметра K_τ^* :

$$C = K_\tau^*. \quad (5)$$

Установленная связь в виде соотношения (5) имеет принципиально важное значение для расчета междукамерных целиков. Еще раз подчеркнем, что величина параметра K_τ^* непосредственно связана с распределением напряжений в целике. В отличие от расчетной степени нагружения C , K_τ^* отражает особенности напряженного состояния междукамерных целиков, обусловленные всем разнообразием горногеологических и горнотехнических условий камерной системы разработки.

Рассмотрим реализацию данного подхода применительно к определению степени нагружения междукамерных целиков, расположенных на участках подработки крыльев флексурных складок. Для оценки влияния угла наклона α отрабатываемых пластов на эффективную степень нагружения целиков выполнялось многовариантное математическое моделирование.

Методология исследований базировалась на установленном соответствии между степенью нагружения целика и параметром K_{τ}^* . При этом подходе влияние угла на степень нагружения междукамерных целиков может быть оценена, исходя из следующих соотношений:

$$k_{\alpha} = C_{\alpha} / C = K_{\tau\alpha}^* / K_{\tau}^*, \quad (6)$$

где C_{α} , C - степень нагружения целиков при наклонном и субгоризонтальном залегании рабочих пластов; $K_{\tau\alpha}^*$, K_{τ}^* - соответствующие значения критерияльного показателя, также для наклонного и субгоризонтального залегания пластов.

Обобщенный анализ многовариантных расчетов напряженно-деформированного состояния междукамерных целиков при различных углах наклона крыльев флексурной складки выполнялся применительно к коэффициенту k_{α} . Как показали проведенные исследования, при $\alpha < 10^0$ или $\lambda > 2$ влиянием угла наклона на степень нагружения целиков можно пренебречь, т.е. $k_{\alpha} = 1$. Зависимость коэффициента k_{α} от значения λ была аппроксимирована линейной функцией

$$k_{\alpha} = (0.79 + 0.032 \cdot \alpha) + (0.132 - 0.017 \cdot \alpha) \cdot \lambda. \quad (7)$$

Для удобства выражение (7) представлено в упрощенном виде:

$$k_{\alpha} = \begin{cases} 1 & \text{при } \alpha < 10^0 \text{ или } \lambda > 2 \\ 1 + (0.1 - 0.016 \cdot \alpha) \cdot (\lambda - 2) & \text{при } \alpha > 10^0 \text{ и } \lambda < 2 \end{cases}. \quad (8)$$

Таким образом, выражение (8) может быть использовано для корректировки степени нагружения междукамерных целиков на участках подработки флексурных складок. В этом случае эффективная степень нагружения целиков рассчитывается по формуле:

$$C_{\alpha} = C \cdot k_{\alpha},$$

где C - определяется согласно выражению (1), а коэффициент k_{α} вычисляется в соответствии с выражением (8).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Указания по защите рудников от затопления и охране подрабатываемых объектов в условиях Верхнекамского месторождения калийных солей (технологический регламент). – СПб., 2004.

ОПЫТ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ СЕЙСМОРАЗВЕДОЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СОЛЯНОГО МАССИВА

Особенности геологического строения Верхнекамского месторождения калийных солей в значительной степени осложняет обеспечение безопасности горных работ и, зачастую, снижает эффективность добычи полезных ископаемых. В этой связи проблема защиты калийных рудников от затопления непосредственно связана с адекватным учетом в геомеханических расчетах особенностей строения соляной толщи. Решение данного комплекса задач возможно на базе разработанной системы сейсмогеомеханического контроля состояния соляного массива, который уже длительное время реализуется на шахтных полях Верхнекамского месторождения. Сейсмогеомеханический контроль включает проведение наземных сейсморазведочных наблюдений и геомеханическую интерпретацию их результатов.

Впервые сейсмогеомеханические исследования проведены в 1993 году на опытных полигонах, организованных на рудниках СКРУ-1 и СКРУ-2 (ЗСВП). По результатам сейсмических работ устанавливалась геометрия границ элементов разреза, их мощности и физические свойства. Для содержательной интерпретации сейсморазведочных исследований, ориентированной на параметрическое обеспечение геомеханических расчетов, с привлечением данных испытаний кернового материала геологоразведочных скважин найдено соответствие между скоростями упругих волн и деформационными свойствами характерных пластов (пачек) соляной толщи. Это позволило в геомеханических расчетных схемах перейти от плоскопараллельных моделей к реальной геометрии элементов геологического разреза, а также использовать при математическом моделировании характерные для данного участка шахтного поля механические свойства пород.

В дальнейшем (БКРУ-2, 15ЗП) по данным скоростного анализа на части профиля в надсоляной толще были выделены области пониженных значений скоростей распространения продольных упругих волн. Встал вопрос об отражении в геомеханической модели кроме геометрии сейсмических границ еще и латеральной изменчивости свойств выделенных структурных элементов разреза. Степень снижения механических параметров на участках геофизических аномалий принималась пропорционально квадрату уменьшения скоростей сейсмических волн. Таким образом, в геомеханическую расчетную схему включалась ослабленная по механическим свойствам зона, к сожалению, неизвестного генезиса.

Предпочтительным вариантом сейсмогеомеханических исследований являются условия, когда первый этап сейсморазведочных наблюдений осуществляется до начала очистных работ. Это позволяет на последующих стадиях легко разделять вклад природных и техногенных факторов в изменение параметров волновых полей, что повышает достоверность построенных физико-геологических моделей и, базирующихся на них, геомеханических расчетов.

Реализовать этот вариант контроля не всегда представляется возможным. В этой связи для определения генезиса геофизических аномалий возникла необходимость в разработке решающих правил совместной интерпретации результатов сейсмогеомеханических исследований.

На основании многочисленных результатов сейсмогеомеханических исследований установлена согласованность изменения компонент поля напряжений и скоростей сейсмических волн: зонам опорного горного давления соответствует повышение скоростей упругих колебаний, участкам разгрузки - снижение их зна-

чений. Для определения генезиса выделенных аномалий предполагается несколько этапов сейсмогеомеханических исследований. На первом этапе выполняется предварительный геомеханический расчет для усредненной физико-геологической модели, в которой не учитывается фактор латеральной изменчивости физических свойств горных пород. По результатам этих расчетов анализируется согласованность латерального изменения вертикального напряжения и скоростей упругих волн, зарегистрированных в выделенных элементах разреза. Нарушение соответствия между повышением сжимающих напряжений и увеличением скоростей интерпретируется как наличие участков реализованной техногенной нарушенности. В свою очередь, низкоскоростные зоны, соответствующие участкам незначительного изменения напряжений, рассматриваются как «природно-ослабленные». На основе этого совместного анализа сейсмических и геомеханических данных производится корректировка параметров математической модели и осуществляется повторный расчет, по результатам которого оценивается состояние породного массива.

К настоящему времени накоплен значительный опыт проведения сейсморазведочных исследований на рудниках Верхнекамского месторождения калийных солей. Практика подобных исследований показала существенный рост их информативности в случае организации мониторинговой системы. Их периодичность в основном определяется интенсивностью горных работ и особенностями геологического строения соляной толщи в пределах изучаемой площади.

Реализацию режимного сейсмогеомеханического контроля можно проиллюстрировать на примере исследований, выполненных в районе блоков 43-49 рудника СКРУ-1. Согласно результатам геомеханических расчетов, выделенная в 1998 году техногенная низкоскоростная аномалия в интервале «ПКС-сильвинитовая зона», характеризовалась тенденцией к расширению в латеральном направлении. Геомеханический прогноз подтвердился сейсморазведочными наблюдениями в 2000 году: за прошедший период отмечено увеличение размеров аномалии (до 50 м) и несколько более высокая контрастность изменения кинематических и динамических параметров волновой картины. В этой связи в геомеханической модели скорректированы размеры зоны ослабления и ее физико-механические характеристики, даны новые прогнозные оценки с рекомендациями о продолжении периодического контроля состояния ВЗТ.

В рамках системы сейсмогеомеханического контроля целесообразно осуществлять предварительный долговременный прогноз развития геомеханической ситуации во времени. Безусловно, результаты этих оценок не претендуют на абсолютную точность, поскольку не могут отразить все особенности фактического изменения состояния подработанного массива. Его основной целью является определение потенциально опасных участков, где существует необходимость проведения в определенные сроки детальных сейсморазведочных работ и последующих геомеханических расчетов по уточненным данным.

Таким образом, имеющийся опыт сейсмогеомеханических исследований на шахтных полях ОАО «Уралкалий» и ОАО «Сильвинит» позволяет осуществлять мониторинг за геомеханической обстановкой на участках со сложным геологическим строением, контролировать образование зон техногенной нарушенности, оценивать опасность их развития и в случае необходимости принимать дополнительные меры охраны ВЗТ.

ПРИНЦИПЫ И ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ РАЗРАБОТКИ ЗАЛЕЖЕЙ НЕФТИ НА СОСТОЯНИЕ НЕДР

«Правила промышленной безопасности при освоении месторождений нефти на площадях залегания калийных солей» (ПБ 07-436-02) регламентируют при составлении технологических схем и проектов разработки нефтяных месторождений выполнение работ по оценке их влияния на состояние недр и соляной толщи.

Анализ изменения напряженно-деформированного состояния породного массива в процессе эксплуатации нефтяных залежей позволил определить следующие потенциально возможные последствия добычи нефти, оказывающие негативное влияние на безопасные условия освоения Верхнекамского месторождения калийных солей:

- сдвигения земной поверхности и деформация промышленных объектов на поверхности;
- образование зон нарушенности в пластах водозащитной толщи;
- дополнительная пригрузка конструктивных элементов камерной системы разработки;
- деформация конструкции скважин;
- нарушение сплошности флюидоупорных пластов, перекрывающих нефте-содержащие залежи.

Оценка воздействия разработки нефтяных месторождений на напряженно-деформированное состояние недр осуществляется методами математического моделирования. Для этого строится расчетная схема, которая отражает особенности геологического строения района исследования, действующее региональное естественное поле напряжений и интенсивность техногенной нагрузки, связанной с процессами добычи нефти [1, 2].

В разрезе определяются границы литолого-физических комплексов, разделенных на толщи, которые при геомеханических расчетах моделируются сплошной изотропной упругой средой.

Естественное поле напряжений характеризует природное состояние породного массива, с которым взаимодействуют техногенные нагрузки, и определяет реакцию недр на эти воздействия.

Изменение напряженно-деформированного состояния массива при разработке нефтяных залежей связано с извлечением углеводородов и закачкой в пласты воды. Решение проводится в два этапа. На первом этапе вычисляются вертикальные (U_y) и горизонтальные (U_x) перемещения, а также соответствующие им поля деформаций $\{\varepsilon\}$ и напряжений $\{\sigma\}$, обусловленные силами гравитации и исходным геологическим строением массива.

На втором этапе решения определяются дополнительные перемещения ($\Delta U_x, \Delta U_y$). При этом напряжения, рассчитанные на первой стадии, рассматриваются в качестве начальных. Дополнительные перемещения $\Delta U_x, \Delta U_y$ полностью определяются изменением порового давления жидкой фазы нефтеводосодержащих пластов и их мощностью. Деформирование нефтеводонасыщенных пластов описывается уравнениями теории упругости, отражающими линейный пороупругий эффект [3].

Сдвигения земной поверхности лишь относительно характеризуют изменение напряженно-деформированного состояния всей толщи пород, расположенной над нефтяной залежью. Тем не менее данный показатель в определенной степени отражает уровень техногенного воздействия добычи нефти на геодинамическое состояние недр.

Если в пределах нефтеносной структуры расположены ответственные промышленные объекты, весьма важной является оценка негативного воздействия добычи нефти на устойчивость поверхностных сооружений. В соответствии с общепринятыми подходами [4, 5] она основывается на сравнении расчетных горизонтальных деформаций земной поверхности с допустимыми и предельными деформациями для охраняемых объектов. Согласно нормативным документам [4], допустимые деформации растяжения для любых ответственных объектов составляют не более 0,1%.

В качестве обобщенной характеристики, определяющей изменение напряженного состояния массива под воздействием добычи полезных ископаемых (нефть и калий), принята величина дополнительных (по отношению к природным) максимальных касательных напряжений. Увеличение максимальных касательных напряжений полностью количественно характеризует техногенную нагрузку на массив, обусловленную извлечением полезных ископаемых, и определяет возможность образования в нем трещин сдвига. Для соляных пород предел прочности на сдвиг изменяется в диапазоне $\tau_{\max} = 1 - 2$ МПа.

Степень воздействия добычи нефти на состояние водозащитной толщи оценивается еще по одному геомеханическому показателю. Как известно [6], опасность образования субвертикальных трещин отрыва связана с формированием в массиве областей действия горизонтальных деформаций растяжения. Согласно результатам испытаний, для соляных пород критическое значение деформации растяжения составляет $\varepsilon_p = 0,1-0,2\%$.

Основным способом управления горным давлением при разработке Верхнекамского месторождения калийных солей является поддержание вышележащей толщи пород на междукамерных целиках. Их поведение под нагрузкой, характер деформирования и разрушения определяют состояние всего подработанного массива, а сохранение устойчивости гарантирует защиту рудников от затопления. В зависимости от геометрических размеров междукамерных целиков при длительном приложении нагрузки их несущая способность колеблется в диапазоне от 8 МПа у податливых целиков до 26-30 МПа у жестких, критическая разрушающая деформация сжатия соляных целиков составляет 3-5%.

Для оценки дополнительной пригрузки междукамерных целиков за счет эксплуатации нефтяных залежей определяется изменение вертикальных напряжений и деформаций в интервале соляной толщи.

Еще один аспект геомеханического анализа связан с оценкой влияния добычи нефти на сохранность герметичности тампонажа эксплуатационных скважин. Основным показателем, определяющим надежную герметичность скважин, является сцепление цементного камня с породой и колонной. По данным [7], при существующей технологии строительства скважин в пределах территории Верхнекамского месторождения сцепление цементного камня с солями составляет 2 МПа, а с металлом - 1,5 МПа.

Для оценки воздействия разработки нефти на герметичность скважин определяется величина субвертикальных касательных напряжений в породном массиве, вмещающем стволы скважин.

Вариации пластового давления в процессе разработки нефтяных залежей обуславливают изменение напряженного состояния всей налегающей толщи пород. Это непосредственно касается и пластов, перекрывающих нефтяные залежи. При определенных условиях возможно нарушение их флюидоупорных свойств за счет формирования субвертикальной трещиноватости и, как следствие, переток нефти в вышележащие горизонты. Очевидно, что реализация такой ситуации вероятна в районах расположения нагнетательных скважин или на участках резкой смены пластовых давлений.

Условием нарушения сплошности флюидоупоров является выполнение неравенства:

$$\tau_{\max} \geq \tau^*,$$

где τ_{\max} - максимальное касательное напряжение, действующее в перекрывающих нефтесодержащие породы толщах и определяемое из решения задачи об изменении напряженно-деформированного состояния породного массива при добыче нефти. Предельное касательное напряжение τ^* вычисляется согласно критерию Кулона:

$$\tau^* = c + tg \varphi (\sigma_n - p),$$

где c, φ - соответственно, коэффициент сцепления и угол внутреннего трения покровных пород; σ_n - нормальное напряжение, действующее на площадке, где касательное напряжение принимает максимальное значение; p - уровень пластового давления в залежи.

В этой форме условие Кулона отражает факт снижения касательных напряжений при повышении пластового давления по отношению к начальному, что увеличивает опасность нарушения сплошности перекрывающих толщ. Уменьшение пластового давления при извлечении углеводородов, наоборот, создает определенный запас прочности покровных пород.

Коэффициент сцепления пород, перекрывающих нефтяные залежи, оценивается в 14 МПа, а угол внутреннего трения – в 30 градусов.

Для оценки изменения прочности покровных пород при разработке нефтяной залежи вводится понятие коэффициента запаса их прочности: $K = \tau^* / \tau_{\max}$, который показывает во сколько раз действующее напряжение меньше предельного.

Таким образом, сформулированные принципы и подходы позволяют получить достаточно полную оценку возможных последствий воздействия разработки месторождения нефти на состояние недр и соляной толщи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оценка влияния разработки нефтяного месторождения на геодинамическое состояние недр / А.А. Барях, А.И. Кудряшов, Н.А. Еремина, Е.А. Грачева // Физико-технич. Проблемы разработки месторождений полезных ископаемых. 1998. N 2.
2. Baryakh A., Samodelkina N., Kudryashov A., Bachurin B. Geomechanical analysis of the influence of oil and potash mining on geodynamic state of the earth's interior // Geotechniczne zabezpieczenie podziemnych wyrobisk gorniczy i tunelowych. Wroclaw, 1999.
3. Николаевский В.Н. Геомеханика и флюидодинамика. М.: Недра, 1996.
4. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных разработок на угольных месторождениях. СПб., 1998.
5. Указания по защите рудников от затопления и охране подрабатываемых объектов в условиях ВКМКС. СПб., 2004.
6. Барях А.А. Геомеханические аспекты защиты калийных рудников от затопления // Горный журнал. Изв. ВУЗов. 1995.- N 6.
7. Толкачев Г.М. Авторский надзор за строительством и состоянием во времени крепи нефтяных скважин на территории Верхнекамского месторождения калийных солей. Информационный отчет о НИР / ПермГТУ - Пермь, 1999.

ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Практика ведения горных работ ставит задачи пространственного моделирования геомеханических процессов, связанных с изменением состояния подработанного породного массива в результате деформирования и разрушения несущих элементов системы разработки. Решение трехмерных задач предполагает пространственную систему исходных данных различной природы.

Для калийных месторождений к базовым категориям исходных данных можно отнести следующие:

- принципиальные элементы геологического строения породного массива;
- геометрия участков отработки и закладки;
- параметры горных и закладочных работ;
- исходные данные и результаты наблюдений за нарастанием оседаний земной поверхности;
- конструкция и состояние ответственных сооружений, попадающих в зону влияния горных работ.

Трехмерная модель строения породного массива с достаточной для геомеханических расчетов точностью формируется на основе данных детальной и эксплуатационной геологической разведки. Геометрия участков отработки и закладки, исходные данные параметров горных и закладочных работ выбираются на основе цифровых маркшейдерских планов с учетом требований геомеханических расчетных схем. Горнотехнические данные непосредственно внедряются в геометрическую модель породного массива, образуя единое информационное поле исходных данных для геомеханической расчетной схемы.

Наиболее сложным к интерпретации, и важным для формирования математической модели, является комплекс данных маркшейдерских наблюдений за оседаниями земной поверхности.

Повторные наблюдения за оседаниями земной поверхности горнодобывающих предприятий проводятся в штатном порядке. На сегодня объем базы данных достоверных измерений, к примеру, в ОАО «Сильвинит» превышает 30000 наблюдений. Тем не менее, несмотря на увеличивающийся объем информации, методика их обработки и интерпретации остается достаточно сложной и является, скорее, предметом искусства, нежели последовательностью строгих математических операций с однозначным ответом.

Причины к тому следующие:

- Система наблюдений является профильной, расстояние между реперами внутри одного профиля значительно меньше, чем между реперами разных профилей, поэтому точность оценки оседаний, попадающих между профильными линиями, значительно меньше, чем внутри одного профиля. При общем площадном характере оседаний форма мульды сдвижений без привлечения дополнительной информации картируется очень условно.

- Надежно и однозначно можно получить значения оседаний только при уже развитом процессе сдвижений. В то же время особую важность в штатной ситуации равномерного нарастания оседаний представляет краевая часть мульды сдви-

жений, в которой возникают наибольшие растягивающие деформации. В краевой части мульды сдвижений оседания практически отсутствуют, и картирование даже данных высокой точности осложняется различными погрешностями, например, воздействием окружающей среды на реперы.

В этих условиях, очевидно, невозможно корректно интерпретировать результаты измерений без привлечения специализированного математического аппарата. Простейший подход, реализованный как начальное приближение, заключается в учете границ влияния горных работ (граничные углы). В то же время такой подход, по сути, дает лишь уточняющее предположение о границах, за пределами которых практически отсутствуют вертикальные оседания поверхности. Для корректной оценки пространственного положения и величины растягивающих деформаций на поверхности, на уровне ВЗТ, во внутренней части семейства мульд сдвижений, такого подхода явно недостаточно.

Современное развитие методов математического моделирования, интегрированных с ГИС, может стать аппаратом, который позволит корректно интерпретировать результаты измерений и делать выводы об общем риске горной ситуации.

Конструкция и состояние ответственных сооружений, попадающих в зону влияния горных работ или других видов активного воздействия на породный массив, например, карстогенного, входят в критериальные параметры модели. Объемное моделирование позволяет строить пространственно распределенную многоточечную систему критериев. Это могут быть особенности поведения свайных фундаментов зданий, закономерности изменения формы осей шахтных стволов и другие случаи, когда состояние сооружения определяется не напряжениями в его отдельном элементарном объеме, а изменением взаимного расположения несущих элементов.

Совместное использование методов математического моделирования и геоинформатики позволяет разделить этапы процесса решения краевых задач и интерпретации результатов их решения. В этом случае традиционно проверочные геомеханические расчеты во многих случаях могут быть использованы как проектировочные, поскольку интерпретация их результатов для конкретных ситуаций может проводиться вне зависимости от процесса решения.

С.Ю. Девятков

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ВО ВРЕМЕНИ СОСТОЯНИЯ ПОДРАБОТАННОГО МАССИВА СЛОЖНОЙ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ КОНФИГУРАЦИИ

Район целика шахтных стволов №1 и №2 рудника СКРУ-1 один из наиболее сложных объектов в практике отработки Верхнекамского месторождения калийных солей. Особенности геологического строения данного участка шахтного поля привели к неоднородной системе отработки всех трех промышленных пластов и сложной конфигурации постоянной границы горных работ. Ситуация усугубляется большим календарным разбросом сроков очистной выемки и близостью солеотвала. Всё это обуславливает высокую техногенную нагрузку на водозащитную толщу (ВЗТ), зем-

ную поверхность и шахтные стволы. Вместе с тем планируемая прирезка новых участков к горному отводу рудника СКРУ-1 выдвигает требования обеспечения более длительного срока службы околоствольного двора и сохранения целостности ВЗТ.

В этой связи важное практическое значение приобретает задача определения необходимости реализации дополнительных мер, обеспечивающих долговременную устойчивость ВЗТ в районе целика шахтных стволов №1 и №2.

Геомеханическая оценка состояния породного массива во времени проводилась путём трёхмерного математического моделирования на основе ГИС-анализа горно-геологической обстановки и развития процессов сдвижения. Для этого решалась краевая задача на основе модели линейной вязкоупругости.

Уровень извлечения калийной руды, время, прошедшее после отработки, наличие закладки и комплекс других факторов, определяющих деформирование массива, учитывались путем изменения механических свойств отработанных пластов по модифицированной схеме метода переменных модулей [1], позволяющей независимо описывать временной характер их деформирования. Построение соответствующих функций ползучести основывалось на математическом описании прогнозных графиков нарастания оседаний земной поверхности.

Изменение глубины ведения горных работ, гипсометрии пластов, реальная конфигурация выработанного пространства непосредственно отражались в расчётной схеме. Решение краевой задачи проводилось методом геометрического погружения с численной реализацией по полуаналитической схеме метода конечных элементов [2].

Геомеханический анализ проводился для двух вариантов развития горнотехнической ситуации. Вначале исследовалось изменение во времени состояния подработанного массива при сохранении текущего уровня закладки выработанного пространства и определялись участки, опасные по нарушению сплошности ВЗТ. В дальнейшем моделировалась дозакладка этих участков и вновь производилась оценка геомеханической ситуации в районе целика стволов №1 и №2. В качестве показателей, определяющих состояние подработанного массива, использовались значения вертикальных и горизонтальных перемещений, горизонтальных деформаций растяжения на земной поверхности и в кровле ПКС.

Расчетные оседания земной поверхности на 2003 г. качественно и количественно согласуются с данными маркшейдерских измерений. В настоящее время деформации ВЗТ и земной поверхности в районе целика незначительны. На текущих оседаниях опасность развития трещин в пластах ВЗТ отсутствует. Существенное нарастание оседаний прогнозируется после 2010 года. К 2030 года оседания в районе границы целика с 1, 2 и 21 блоками достигнут 1 м, а деформации растяжения в кровле ПКС превысят 1 мм/м (рис.1,б), что соответствует предельным для соляных пород значениям. Таким образом, при сохранении текущего состояния закладочных работ создаются предпосылки к нарушению сплошности ВЗТ. Одновременно деформации растяжения земной поверхности (рис.1,а) достигнут максимальных значений (3 мм/м) в районе стволов, что сопряжено с опасностью воздействия горных работ на капитальные сооружения промплощадки.

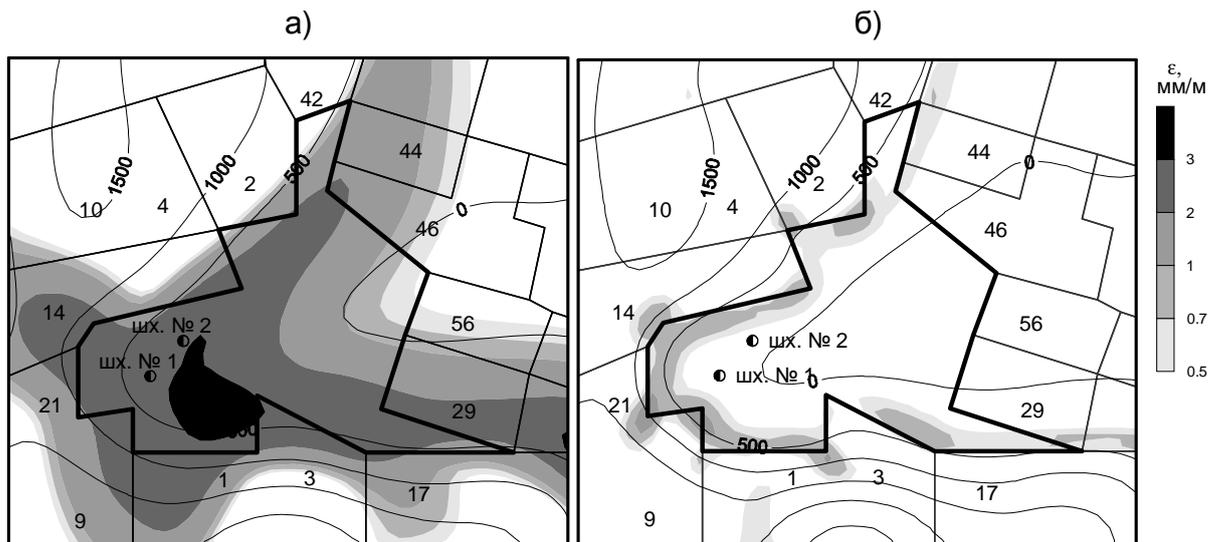


Рис. 1. Совмещенный план изолиний прогнозных оседаний и максимальных горизонтальных деформаций растяжения на 2030 г. при сохранении текущего состояния закладочных работ: а) поверхность; б) кровля ПКС

Причиной высоких значений прогнозных деформаций является недостаточная степень заполнения ряда камер закладочным материалом. Текущая ситуация с отработкой и закладкой камер в районе целика достаточно хаотична. Участки, на которых закладка выполнена в полном объеме, соседствуют с площадями, для которых степень закладки камер явно не достаточна.

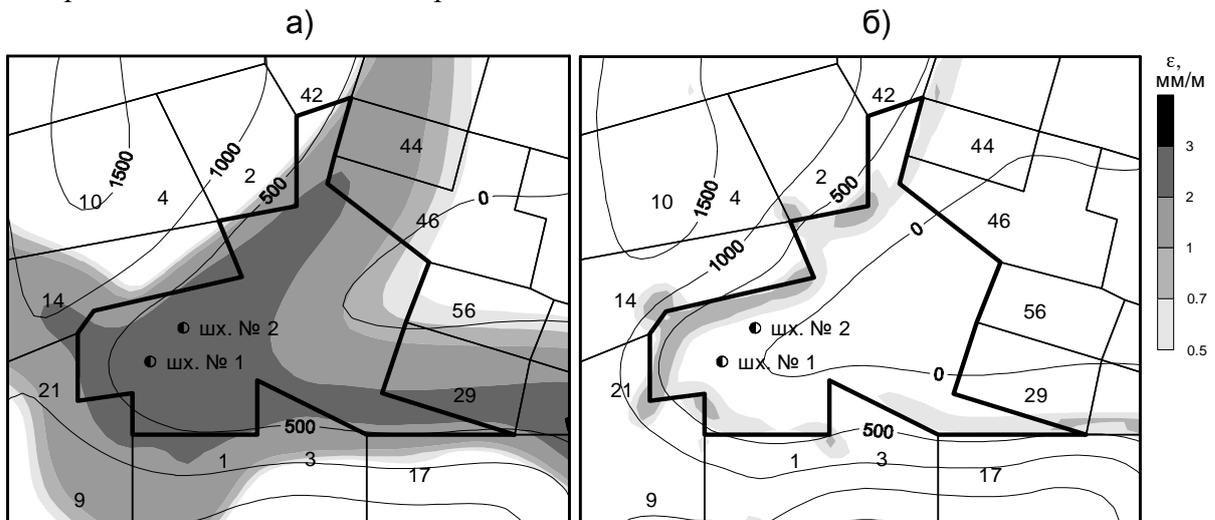


Рис. 2. Совмещенный план изолиний прогнозных оседаний и максимальных горизонтальных деформаций растяжения на 2030 г. при реализации дополнительных мер охраны: а) поверхность; б) кровля ПКС.

Для обеспечения безопасных условий подработки ВЗТ рекомендуется осуществить дозакладку очистных камер в районе блоков 1, 3, 5, 7, 21 с коэффициентом заполнения, равным 0,85. Дозакладку камер целесообразно осуществить до начала ускоренных оседаний (2010 года) земной поверхности, поскольку, как показывает практика, гидрозакладка камер в активной стадии сдвижений вызывает дополнительное повышение скорости деформирования несущих элементов системы отработки, вплоть до внезапных вывалов породы из кровли и обрушения потолочин. Результаты оценки изменения состояния ВЗТ и земной поверхности во времени при дозакладке

очистных камер приведены на рис. 2. При реализации данных мер охраны деформации растяжения в кровле ВЗТ к 2030 г. не превысят нижней границы предельных для соляных пород значений (1 мм/м), а земной поверхности в районе промплощадки снизятся до 2 мм/м.

Для интервала наиболее интенсивного нарастания оседаний (2010-2020 годы) дополнительно проведена сравнительная оценка скоростей оседаний земной поверхности и скоростей деформаций. Как и следовало ожидать, дополнительная закладка существенно снижает скорость оседаний (со 120 мм/год до 80 мм/год). На участке реализации мер охраны, в зоне расположения объектов промплощадки скорости деформаций не превысят 0.015 мм/м/мес (рис. 3), что соответствует требованиям нормативных документов [3].

Таким образом, реализация дополнительных мер охраны в виде дозакладки очистных камер обеспечивает безопасное состояние ВЗТ и объектов промплощадки на весь срок службы рудника.

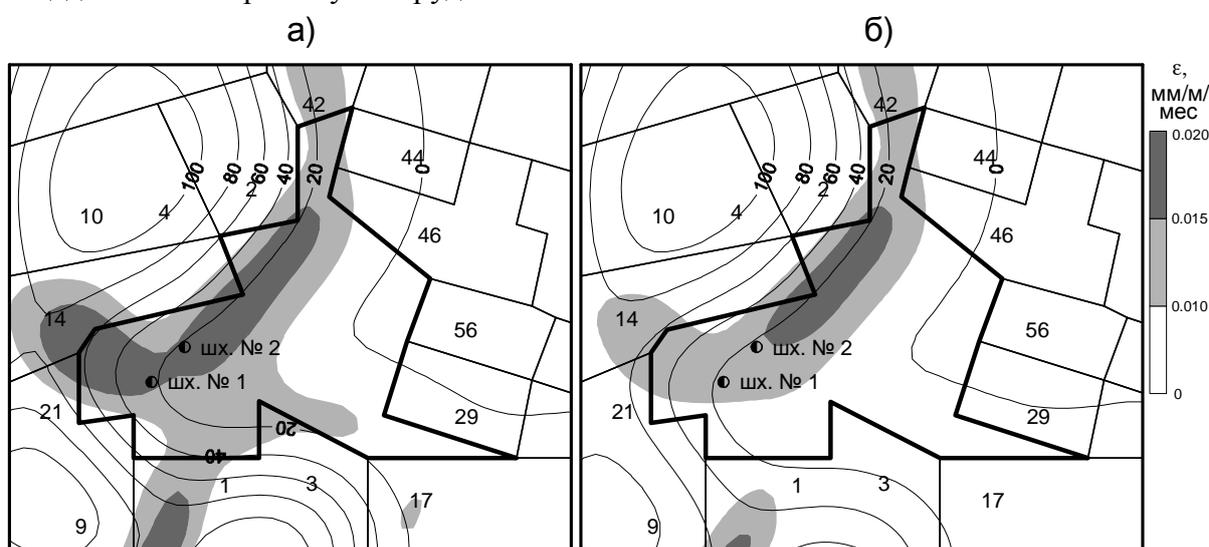


Рис. 3. Совмещенный план изолиний скоростей оседаний и максимальных горизонтальных деформаций растяжения на земной поверхности с 2010 по 2020 год:
 а) при сохранении текущего состояния закладочных работ,
 б) при реализации дополнительных мер охраны

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барях А.А. Об одном подходе к прогнозу изменения во времени напряженно-деформированного состояния подработанного массива // Стратегия и процессы освоения георесурсов: Материалы науч. сессии ГИ УрО РАН по результатам НИР в 2003 г. Пермь, 2004.
2. Шардаков И.Н., Труфанов Н.А., Матвеев В.П. Метод геометрического погружения в теории упругости. Екатеринбург: УрО РАН, 1999. 298 с.
3. ТСН 22-301-98 Пермской области. Здания на подрабатываемых территориях ВКМКС. Назначение строительных мер защиты. Пермь, 1998.

РАЗРАБОТКА МЕР ОХРАНЫ ВЗТ ПРИ ОТРАБОТКЕ СОПРЯЖЕННЫХ ПАНЕЛЕЙ РУДНИКА СКРУ-3

В пределах блоков 1 и 2 панели №1 рудника СКРУ-3 развиты открытые природные трещины. Они представляют систему кулисообразных трещин сколового типа и имеют субвертикальную ориентацию. На участке блоков 1 и 2 панели № 1 рудника СКРУ-3 отработаны два сильвинитовых пласта АБ и КрII. Очистная выемка запасов блока 1 производилась в 1985-1988 гг., блока 2 - в 1986-1988 гг. Для обеспечения водонепроницаемости водозащитной толщи (ВЗТ) на участках распространения открытых трещин регламентировалась закладка очистных камер. В период с 1987 по 1990 год в камерах блока 1 осуществлена сухая закладка. Степень их заполнения составила: по пласту АБ - $A=0,7$; по пласту КрII - $A=0,75$. В 1991-1993 гг. произведена гидрозакачка камер блока 2. Достигнута следующая степень заполнения камер: по пласту АБ - $A=0,63$; по пласту КрII - $0,85$. Сопряженная панель №5 планируется к отработке.

Целью настоящих исследований являлась оценка состояния водозащитной толщи (ВЗТ) и разработка мер охраны системы природных трещин в процессе отработки панели №5.

Анализ изменения напряженно-деформированного состояния подработанного массива осуществлялся методами математического моделирования. Принципиальная схема расчетов представлена на рис.1. В систему ее параметрического обеспечения включены ослабленные по механическим свойствам зоны, выделенные по результатам интерпретации сейсморазведочных работ.

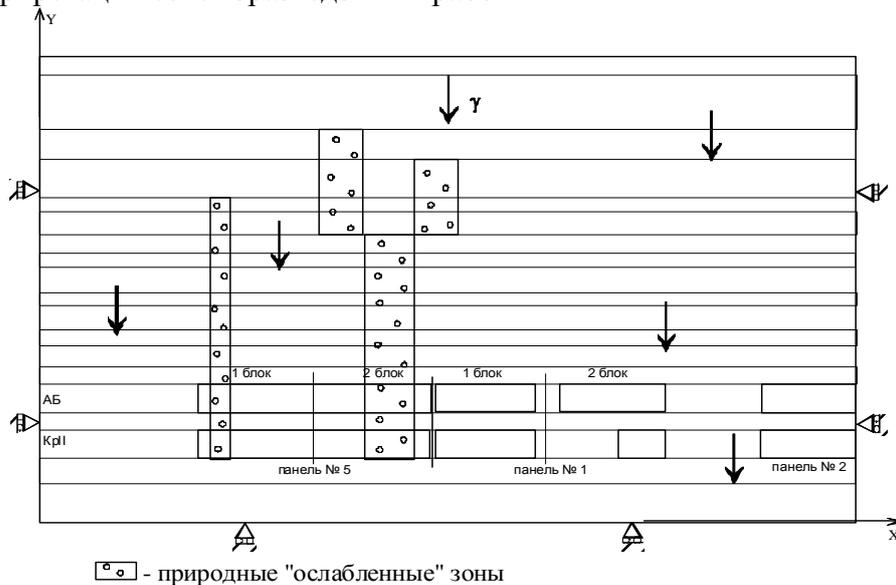


Рис. 1. Принципиальная схема расчета

Для оценки изменения состояния подработанного массива во времени использовался подход, основанный на модифицированной схеме метода переменных модулей [1]. Реологические параметры отработанных пластов определялись по прогнозным графикам нарастания оседаний земной поверхности. Численная реализация математического моделирования осуществлялась по стандартной схеме метода конечных элементов [2]. Общее число конечных элементов с учетом сгущения сетки в вершинах трещин составило – 27240, количество узлов – 13985.

Оценка состояния ВЗТ, выполненная по деформационному критерию, показала, что в условиях выделенных аномалий строения ВЗТ ее сохранность не гарантируется

без применения дополнительных мер охраны. Критические деформации растяжения в районе общей границы между панелями достигаются уже через 30 лет после завершения горных работ на панели №5. В этой связи рекомендуется в пределах основной зоны 2 блока панели № 5 произвести, по аналогии с сопряженным 1 блоком панели №1, закладку пластов АБ и КрП со следующими коэффициентами заполнения очистных камер: по пласту АБ - $A=0,7$; по пласту КрП - $A=0,75$. Целесообразно также погасить целик по пласту АБ между 1 и 2 блоками панели №1.

Реализация рекомендованных мер охраны существенно улучшает состояние ВЗТ (рис. 2).

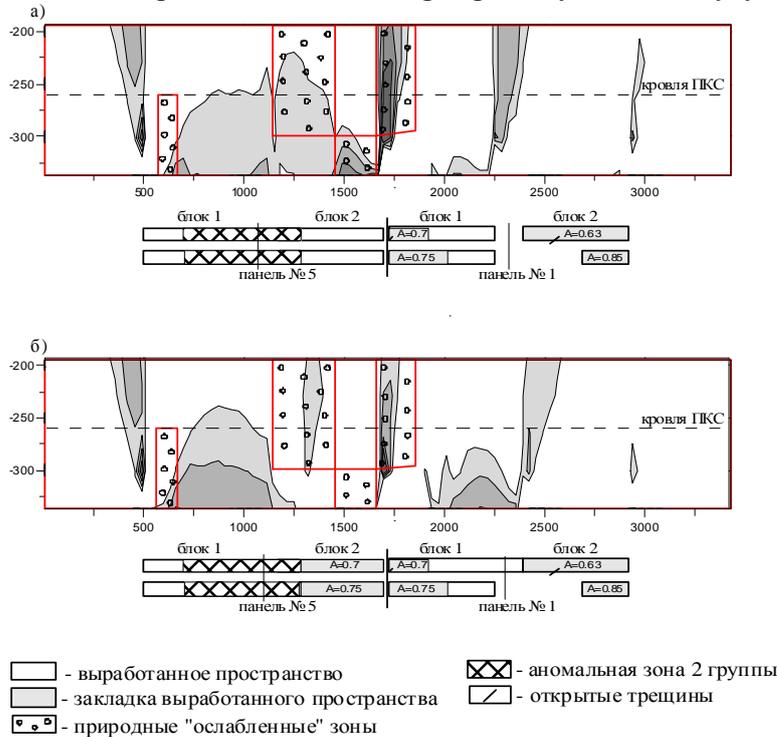


Рис.2. Распределение на конец процесса сдвижения горизонтальных деформаций растяжения по разрезу ВЗТ: а) без дополнительных мер охраны; б) при реализации рекомендованных мер охраны

Исчезает сквозная зона растяжения в интервале ВЗТ, где деформации достигают предельных величин. Погашение целика между блоками 1 и 2 панели №1 также оказывает позитивное влияние на состояние ВЗТ. Деформации растяжения уменьшаются, и практически во всей зоне концентрации становятся меньше нижней границы предельных для соляных пород значений (0,1%). Аналогичная картина отмечается и при анализе состояния ВЗТ по критерию Кулона-Мора [3]. Величина критериального параметра R , контролирующего рост техногенных трещин, на участке общей границы между панелями №1 и №5 при закладке очистных камер не достигает предельного значения даже на конец процесса сдвижения.

Анализ изменения напряженного состояния подработанного массива на участке 1 и 2 блоков панели № 1 показал, что распространение открытых природных трещин может происходить только за счет плоского сдвига. В этой связи, в условиях длительного приложения, нагрузки критерием роста трещины является выполнение неравенства

$$k_{\sigma} \cdot K_{II} \geq K_{IIc}, \quad (1)$$

где K_{II} - расчетный коэффициент интенсивности напряжений; K_{IIc} - его критическое значение, которое для каменной соли составляет $K_{IIc} = 1 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$ [4]; k_{σ} - коэффициент безопасности, отражающий длительное воздействие нагрузки на трещину. Следуя данным А.А. Каминского [5], оценка величины показателя k_{σ} может быть проведена по формуле:

$$k_{\sigma} = \sqrt{\sigma_c / \sigma_{\infty}}, \quad (2)$$

где $\sigma_c, \sigma_{\infty}$ - соответственно мгновенный и длительный предел прочности при одноосном сжатии. Для пластов каменной соли отношение $\sigma_c / \sigma_{\infty}$ принято равным 2,5. Вычисление коэффициента интенсивности напряжений K_{II} осуществлялось асимптотическим методом:

$$K_{II} = \lim_{\rho \rightarrow 0} \tau_{xy} \cdot \sqrt{2\pi\rho}, \quad (3)$$

где τ_{xy} - касательное напряжение в точке, расположенной на расстоянии ρ от вершины трещины.

Основная трудность оценок опасности подработки открытых природных трещин на шахтном поле СКРУ-3 заключается в отсутствии достоверных данных о высоте их распространения в интервале ВЗТ. Поэтому правомерным представляется подход, основанный на принципе “запаса прочности”, суть которого заключается в том, что в расчетах параметры трещины варьируются до максимально возможной высоты ее распространения над выработанным пространством. Для условий 1 и 2 блока панели №1 принят следующий диапазон изменения высоты трещин: 15 м (пласт В-Г); 35 м (пласт Д-Е); 60 м (до почвы пласта ПКС); 74 м (до почвы пласта ПП).

Критериальный анализ условий роста под воздействием горных работ природных трещин показал (табл.1), что трещина, развитая в блоке 2, сохраняет свою устойчивость вплоть до завершения процессов движений без применения дополнительных мер охраны. Очистная выемка запасов панели №5 уже через 30 лет после ее отработки обуславливает возможность распространения трещины 1 блока панели №1 при ее высоте до 35 метров. Более «высокие» трещины с определенной долей риска (значимые по отношению к предельным расчетные коэффициенты интенсивности напряжений) сохраняют свою устойчивость даже на конец процесса сдвижения. Принципиально это означает, что природная трещина не должна прорасти сквозь всю мощность ВЗТ. Тем не менее, с позиции гарантированного обеспечения ее долговременной сохранности, представляется целесообразным применение дополнительных мер охраны, снижающих техногенную нагрузку от горных работ.

Расчетные значения коэффициентов интенсивности напряжений для различных высот распространения трещин над выработанным пространством при реализации указанных выше мер охраны приведены ниже.

Таблица 1

Изменение расчетного коэффициента интенсивности напряжений во времени*

трещина 1 блока			
Высота трещины, м	$k_{\sigma} \cdot K_{II}, МПа \cdot м^{1/2}$		
	Через 30 лет после отработки	Через 80 лет после отработки	На конец процесса сдвижения
15	1,137/0,810	1,264/0,853	1,463/0,921
35	0,596/0,346	0,643/0,362	0,768/0,392
60	0,423/0,223	0,471/0,228	0,564/0,247
74	0,347/0,167	0,384/0,165	0,465/0,177
трещина 2 блока			
Высота Трещины, м	$k_{\sigma} \cdot K_{II}, МПа \cdot м^{1/2}$		
	Через 30 лет после отработки	Через 80 лет после отработки	На конец процесса сдвижения
15	0,036/0,022	0,054/0,022	0,060/0,032
35	0,049/0,001	0,068/0,003	0,076/0,008
60	0,046/0,021	0,060/0,012	0,068/0,010
74	0,055/0,023	0,079/0,010	0,089/0,007

*числитель – расчет без применения мер охраны, знаменатель – при их использовании.

Как видно, закладка основной зоны 2 блока панели №5 обуславливает существенное снижение коэффициентов интенсивности напряжений в вершине трещины 1 блока панели №1. Для трещин малой высоты при реализации охранных мероприятий их значения становятся меньше предельной величины на все расчетные моменты времени вплоть до завершения процессов сдвижения. Для «высоких» трещин коэффициенты интенсивности не превышают 25% от критических. Погашение целика между блоками панели №1 оказывает также благоприятное влияние на состояние природной трещины 2 блока. В этом случае коэффициенты интенсивности напряжений снижаются практически до нуля.

Таким образом, рекомендованные меры охраны обеспечивают долговременную сохранность ВЗТ и устойчивость природных трещин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барях А.А. Об одном подходе к прогнозу изменения во времени напряженно-деформированного состояния подработанного массива // Стратегия и процессы освоения георесурсов: Материалы науч. сессии ГИ УрО РАН по результатам НИР в 2003 г. Пермь, 2004.
2. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике.- М.: Мир, 1975.
3. Goodman R.E., Taylor R.L., Brekke T.L. A model for the mechanics of jointed rock. Proc. ASCE. Vol. No. EM3, 1968.
4. Зильбершмидт В.Г., Зильбершмидт В.В., Наймарк О.Б. Разрушение соляных пород.- М.: Наука, 1992.
5. Каминский А.А. Механика разрушения вязко-упругих тел. Киев: Наукова думка, 1980.

С.Ю. Лобанов

ОБ АДЕКВАТНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ПЕРЕМЕННЫХ МОДУЛЕЙ В РЕОЛОГИЧЕСКИХ РАСЧЕТАХ

Математическое описание деформирования горных пород во времени основывается на линейных или нелинейных постановках теории наследственности. Методы решения этих задач в достаточной степени разработаны. Однако их применение в реальных геомеханических расчетах связано со значительными вычислительными трудностями. В этой связи для интегрального учета фактора времени при анализе деформирования горного массива, зачастую, применяют метод переменных модулей [1]. В ряде случаев использование данного подхода не позволяет адекватно оценить изменение напряженно-деформированного состояния подработанного массива во времени.

Рассмотрим подработанный слоистый породный массив, находящийся под действием сил тяжести интенсивностью γ (γ – средний удельный вес пород) в условиях плоской деформации. Расчетная схема задачи показана на рис.1.

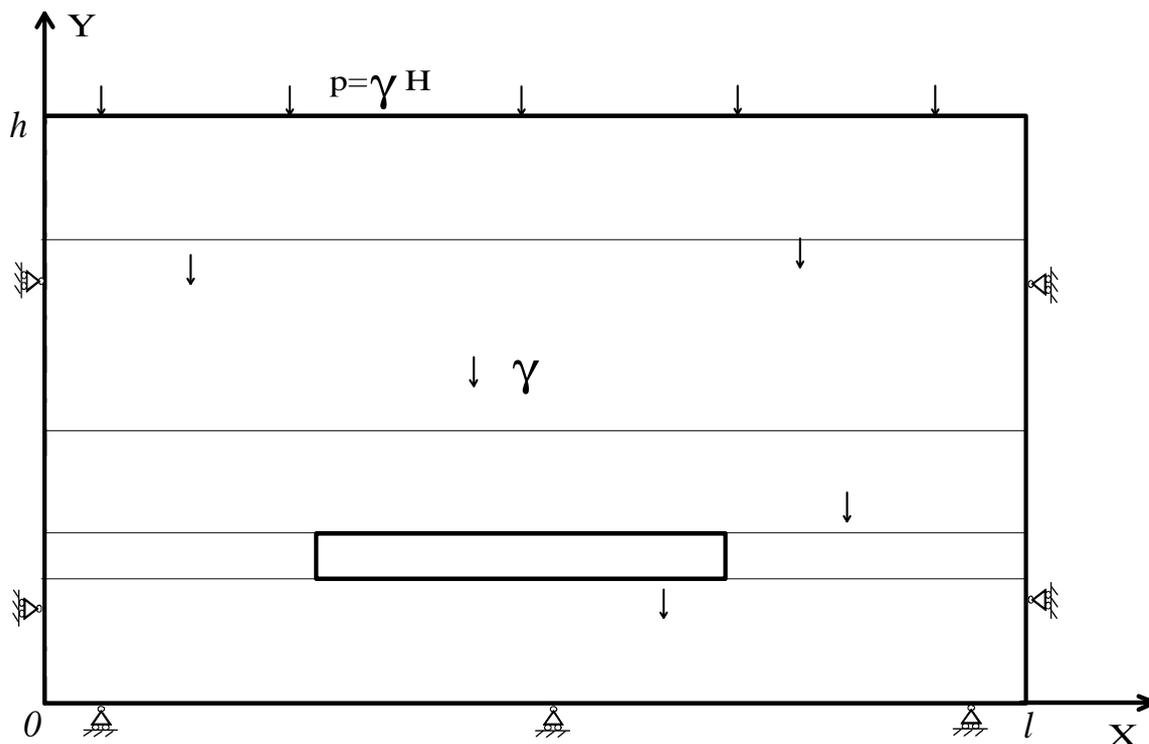


Рис. 1. Расчетная схема

Выработанное пространство моделируется отверстием прямоугольной формы. Граничные условия заданы в следующем виде: верхняя поверхность – свободная; на нижней поверхности вертикальные перемещения равны нулю; на боковых – горизонтальные перемещения равны нулю. Размеры рассматриваемой области: $l = 500\text{м}$; $h = 230\text{м}$. Протяженность выработанного пространства 80м , высота 5м . Глубина $H = 60\text{м}$.

Решение задачи осуществляется методом геометрического погружения с разложением вектора смещений в ряд Фурье по координате x [2]. Учет фактора времени производился двумя путями: с использованием традиционной схемы метода переменных модулей и по разработанной вычислительной процедуре анализа реологических процессов с позиции теории наследственности [3]. Принимается, что выработанное пространство сформировано в момент времени $t = 0$. Для обоих вариантов решение проводилось по временным шагам, равным 100 суткам.

При решении задачи методом переменных модулей постулируется независимость напряжений от времени, а упругие константы, характеризующие свойства породного массива, заменяются на их временные аналоги [1]:

$$E_t(t) = \frac{E}{1 + \Phi(t)}, \quad \nu_t(t) = 0.5 - \frac{0.5 - \nu}{1 + \Phi(t)}, \quad \mu_t(t) = \frac{\mu}{1 + 1.5 \frac{\Phi(t)}{1 + \nu}}, \quad (1)$$

где E – модуль Юнга; ν – коэффициент Пуассона; μ – модуль сдвига. Функция ползучести $\Phi(t)$ в общем случае имеет вид:

$$\Phi(t) = \int_0^t K(t - \tau) d\tau, \quad (2)$$

где $K(t - \tau)$ – ядро ползучести. При использовании в качестве подынтегральной функции степенного ядра Абеля

$$K(t-\tau) = \delta(t-\tau)^{-\alpha} \quad (3)$$

выражение для $\Phi(t)$ запишется в следующей форме:

$$\Phi(t) = \frac{\delta^{1-\alpha}}{1-\alpha}, \quad (4)$$

где α и δ - параметры ползучести.

Применение метода переменных модулей в итерационной процедуре решения задачи методом геометрического погружения означает замену матриц жесткости левой и правой части их временными аналогами

$$[K_n^t]_0 \{u_n^k\} = \sum_{m=0}^{\infty} [K_{nm}^t]_{\Delta} \{u_m^{(k-1)}\} + \{P_n\}, \quad (5)$$

Таким образом, использование этого подхода сводит решение реологической задачи к реализации на каждом временном шаге соответствующей упругой задачи.

Решение исходной задачи с использованием методов теории наследственности осуществляется в соответствии с вычислительной схемой, представленной в работе [3]. В этом случае, алгебраический аналог метода геометрического погружения, принимает вид:

$$[K_n]_0 \{u_n^i\}^k = \sum_{m=0}^M [K_{nm}]_{\Delta} \{u_m^i\}^{k-1} + \sum_{i=1}^{l-1} \sum_{n=0}^M [K_{nm}^{\mathcal{E}(i)}]_{\Delta} \{u_m^i\} + \sum_{m=0}^M [K_{nm}^{\mathcal{E}^*(i)}]_{\Delta} \{u_m^i\}^{k-1} - \sum_{i=1}^{l-1} [K_n^{\mathcal{E}(i)}]_0 \{u_n^i\} - [K_n^{\mathcal{E}^*(i)}]_0 \{u_n^i\}^{k-1} + \{P_n\}, \quad (6)$$

где $[K_n^{\mathcal{E}^*}]_0, [K_{nm}^{\mathcal{E}^*}]_{\Delta}$ - операторные части соответствующих матриц жесткости, l - общее число точек разбиения по оси времени.

Решение системы (6) осуществляется с фиксированным шагом по времени. Для реализации пошагового алгоритма вводилась временная сетка $\omega_i = \{t_i = ih_i; h_i = t/l, i = \overline{1, l}\}$. По аналогии с методом переменных модулей в качестве ядра ползучести принималось степенное ядро Абеля (3).

Следует отметить, что интенсивность реологических процессов при их описании ядром Абеля определяется численными значениями параметров ползучести α, δ . При этом для большинства горных пород параметр α является достаточно стабильной величиной и может быть принят равным $\alpha = 0,7$. В этом случае ползучесть соляных пород полностью характеризуется параметром δ , с увеличением которого более выражено проявляется деформирование горных пород во времени. Поэтому анализ «погрешности» реологических оценок метода переменных модулей выполнялся путем варьирования значений параметра δ .

Сопоставительные расчеты проводились на примере горизонтальных деформаций растяжения. Установлено что при $\delta = 0,001c^{\alpha-1}$ расхождение в величинах деформаций, полученных методами переменных модулей и теории наследственности, не превышает 2%. При $\delta = 0,005c^{\alpha-1}$ отличие в горизонтальных деформациях растяжения (рис. 2) достигает - 10%.

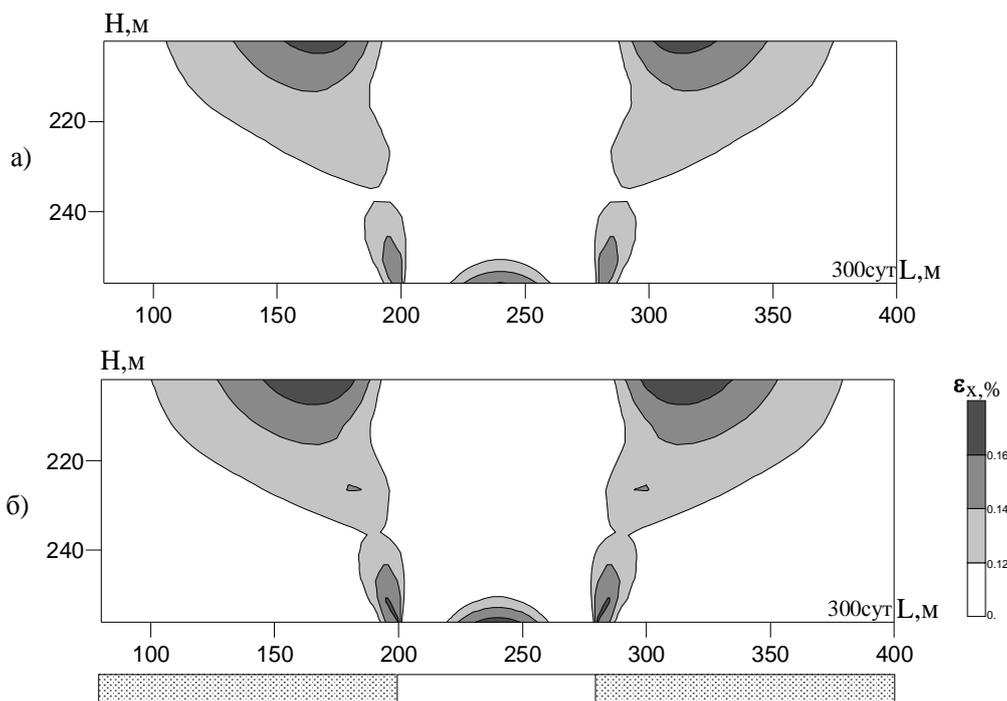


Рис. 2. Характер распределения горизонтальных деформаций растяжения на фиксированный момент времени, ($\delta = 0.005 \text{сек}^{\alpha-1}$):
 а) метод переменных модулей;
 б) метод теории наследственности

Таким образом, при выраженной ползучести горных пород ($\delta \geq 0,01 \text{с}^{\alpha-1}$) применение метода переменных модулей в условиях стационарного положения выработанного пространства может приводить к заниженным значениям показателей напряженно-деформированного состояния подработанного массива. Причем, «погрешность» в результатах будет тем выше, чем более интенсивно проявляются реологические свойства горных пород и более продолжительным является временной интервал анализа. В аналогичных постановках при $\delta \leq 0,005 \text{с}^{\alpha-1}$ метод переменных модулей упругости в целом обеспечивает приемлемые результаты расчетов.

Усложним рассматриваемую задачу. Принимается, что выработанное пространство формируется за определенный период времени. Горно-геологические условия отработки и граничные условия аналогичны. Момент времени $t = 0$ соответствует состоянию массива, ненарушенного горными работами. Выработанное пространство моделируется отверстием прямоугольного поперечного сечения. Скорость движения фронта очистных работ составляет 20 м за 100 суток. Протяженность выработанного пространства принимается равным 80 м. Время его формирования - 400 суток. Реологические свойства пород описываются ядром ползучести Абея (3).

Решение задачи также осуществляется с применением двух реологических подходов: метода переменных модулей и вычислительной процедуры (б), построенной на основе линейной теории наследственности.

Для определения условий применимости метода переменных модулей в геомеханических задачах, учитывающих динамику формирования выработанного пространства, приведено решение данной задачи при «слабой» ползучести вмещающих пород ($\delta = 0,001 \text{с}^{\alpha-1}$). Распределение горизонтальных деформаций растяжения для этого расчетного варианта иллюстрируется на рис. 3. Как видно, даже в случае «слабо» выраженной ползучести пород, при учете динамики горных работ, погрешность реологиче-

ских оценок метода переменных модулей достигает 30%. При использовании в расчетах параметра $\delta = 0,01c^{\alpha-1}$ результаты по методу переменных модулей становятся ниже на 40 – 50%. Очевидно, что такая погрешность является весьма значительной.

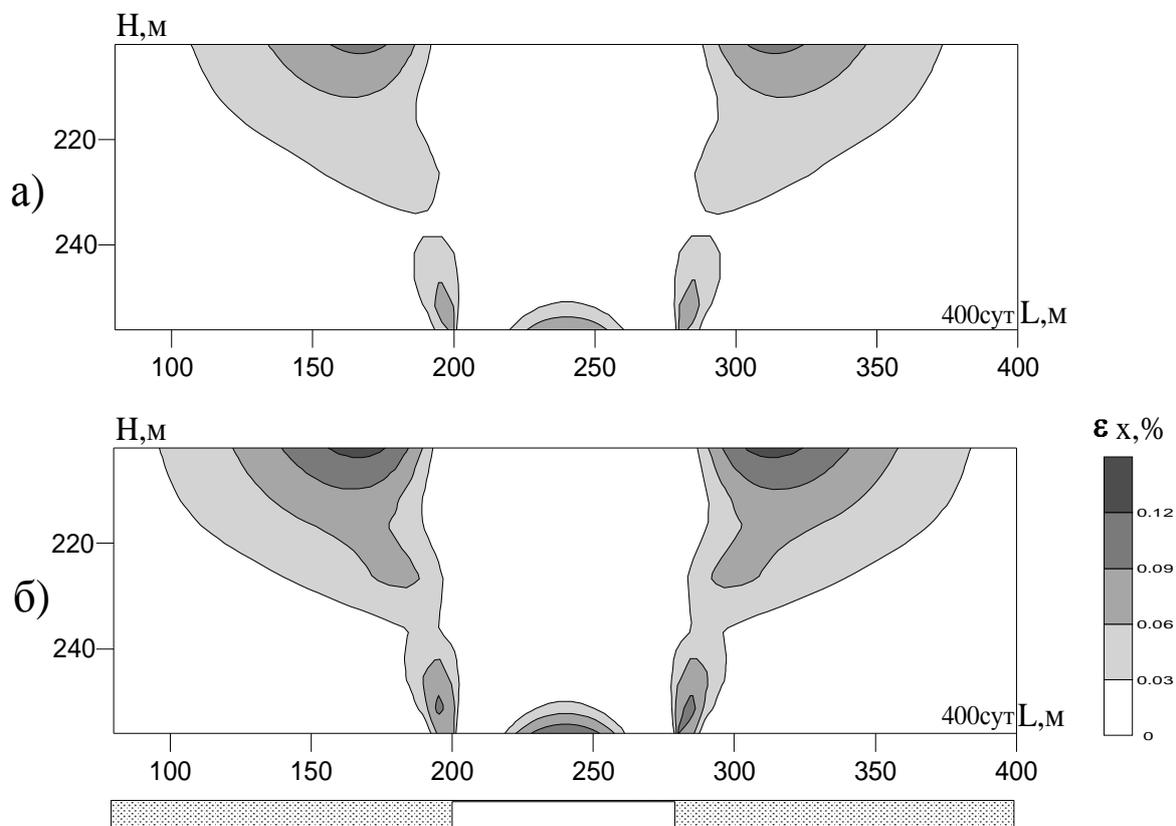


Рис. 3. Распределение горизонтальных деформаций растяжения:
 а) метод переменных модулей
 б) метод теории наследственности

Таким образом, в реологических расчетах, отражающих развитие очистных работ, адекватные результаты вне зависимости от свойств ползучести пород могут быть получены только при использовании методов, учитывающих всю предисторию нагружения подработанного массива.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Амусин Б.З., Линьков А.М. Об использовании переменных модулей для решения одного класса задач линейно-наследственной ползучести // Механика твердого тела. -1 974.- №6. - С.162-166.
2. Шардаков И.Н., Трояновский И.Е., Труфанов Н.А. Метод геометрического погружения для решения краевых задач теории упругости. Свердловск: УНЦ СССР, 1984.
3. Лобанов С.Ю. Математическое моделирование динамики разработки пластовых месторождений // Материалы науч. сессии Горного Института УрО РАН. Пермь, 2003.

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ГЕОМЕТРИЗАЦИИ ПОРОДНОГО МАССИВА ПО ДАННЫМ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ РАЗВЕДКИ

В настоящее время область геоинформатики активно развивается. Мировой объем данных, представленных на основе геоинформационных технологий, каждый год приблизительно удваивается. Новые версии программ управления базами геоданных являются, по сути, синтезом графических редакторов, издательских систем, систем управления базами данных и офисных приложений. Возможности обеспечения топологической корректности, различных видов пространственного анализа (сетевой, объемный, цветовой) существенно дополняют традиционное сопоставление данных. В то же время, для геологического обеспечения горных работ возможностей только одних ГИС явно не достаточно. С одной стороны, это связано с выполнением специальных графических построений (колонки, разрезы, каротажные диаграммы), с другой - с хранением данных геологической разведки и специализированными расчетами со стандартными формами отчетности. Попытки решить эти задачи исключительно средствами ГИС представляются неэффективными.

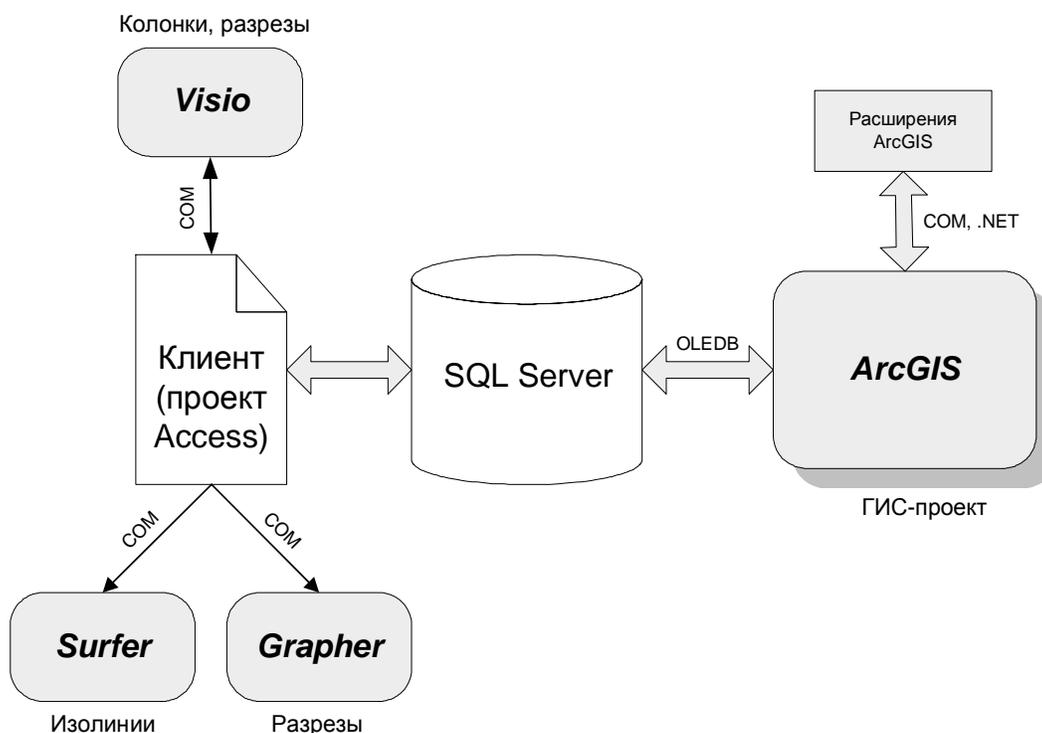


Рис.1. Схема программного комплекса

Разработан и в данное время развивается программный комплекс (рис.1), включающий в себя систему хранения и анализа данных детальной и эксплуатационной геологической разведки и набор специализированных модулей-расширений системы ArcGIS.

Система **GeoConstructor** первоначально создана для обеспечения решения следующих задач:

1. Построение геологических колонок в соответствии со стандартными требованиями.
2. Построение геологических разрезов по группе скважин и произвольному профилю в соответствии с задачами, решаемыми геологическими, геофизическими и службами мониторинга предприятия.
3. Построение изолиний (изогипс, изопахит, изоглубин) по данным скважин геологической разведки.
4. Создание компоновок, фрагменты которых подготовлены в различных системах (план, профиль, разрез, сечение, зарисовка, фотография, таблица, диаграмма, пояснительная записка) для обобщения и обоснования принятия решений в различных горных ситуациях.

Созданная информационно-аналитическая система разработана в среде Microsoft Access XP на платформе MS SQL Server и представляет собой единую нормализованную базу данных и систему клиентских мест, работающих как распределенное Windows-приложение масштаба предприятия. Система предназначена для хранения и анализа данных скважин детальной и эксплуатационной геологической разведки, в базе данных можно хранить данные бороздового опробования и специальных проб на химический состав. Реального ограничения на количество записей в таблицах базы данных нет. Система, разработанная средствами MS Access XP, хорошо интегрирована с другими приложениями Office (Excel, Word, Visio и т.д.), облегчен импорт данных из других источников.

Вывод графической информации обеспечивает:

- построение колонок скважин и разрезов по группе скважин – в программу Microsoft Visio;
- построение разреза по произвольному профилю – в программу GoldenSoftware Grapher;
- планы изолиний абсолютных отметок и глубин – в программу GoldenSoftware Surfer.

Это дает возможность пользователю выбрать необходимый для него вид и способ отображения графической информации, возможность ее компоновки с другими, например, картографическими данными и экспорта в другие программы. Система является открытой в смысле создания пользовательских заготовок (шаблонов документов, штриховок горных пород).

Функционирование базы данных происходит в общей системе электронного картографического и аналитического программного обеспечения. Основным способом подключения данных к ArcGIS является создание ODBC соединения. Соединение создается средствами операционной системы и средствами ArcGIS (ArcCatalog). Создавая новые запросы в базе данных, или изменяя их параметры, можно управлять видом и атрибутами слоя в ArcGIS простым обновлением. В ГИС-проекте можно одновременно держать несколько соединений с разными запросами к одной и той же базе данных. Созданная таким образом связь между ГИС-слоями и базой данных позволяет осуществлять поиск (навигацию) соответствующих записей в базе и объектов на электронном плане. Эта связь дает возможность сформировать разрез или выборку объектов, используя графические инструменты ArcGIS, и передать соответствующую информацию в базу данных.

Помимо автоматизированного построения изолиний в программе Surfer и построения разрезов в программе Grapher, существует возможность простого экспорта данных в эти программы через стандартный буфер обмена. При необходимости можно, используя модули Spatial Analyst или 3D Analyst, построить изолинии непосредственно в ArcGIS.

Дополнениями к системе служат так называемые модули-расширения ArcGIS, направленные на решение конкретных или сопутствующих задач. Одним из таких расширений является модуль создания геологического разреза по произвольной профильной линии **SliceMaker** (рис. 2), использующий в качестве подосновы (исходных данных) изолинии (поверхности), построенные по отметкам залегания пластов и толщ. В результате формируется точечный ГИС-слой, содержащий атрибуты высот, полученных по исходным поверхностям. На основе этого слоя строится пространственная картина разреза. Таблица атрибутов выходного слоя может быть использована для построения семейства графиков линий раздела пластов как эскиз к конечному виду геологического разреза.

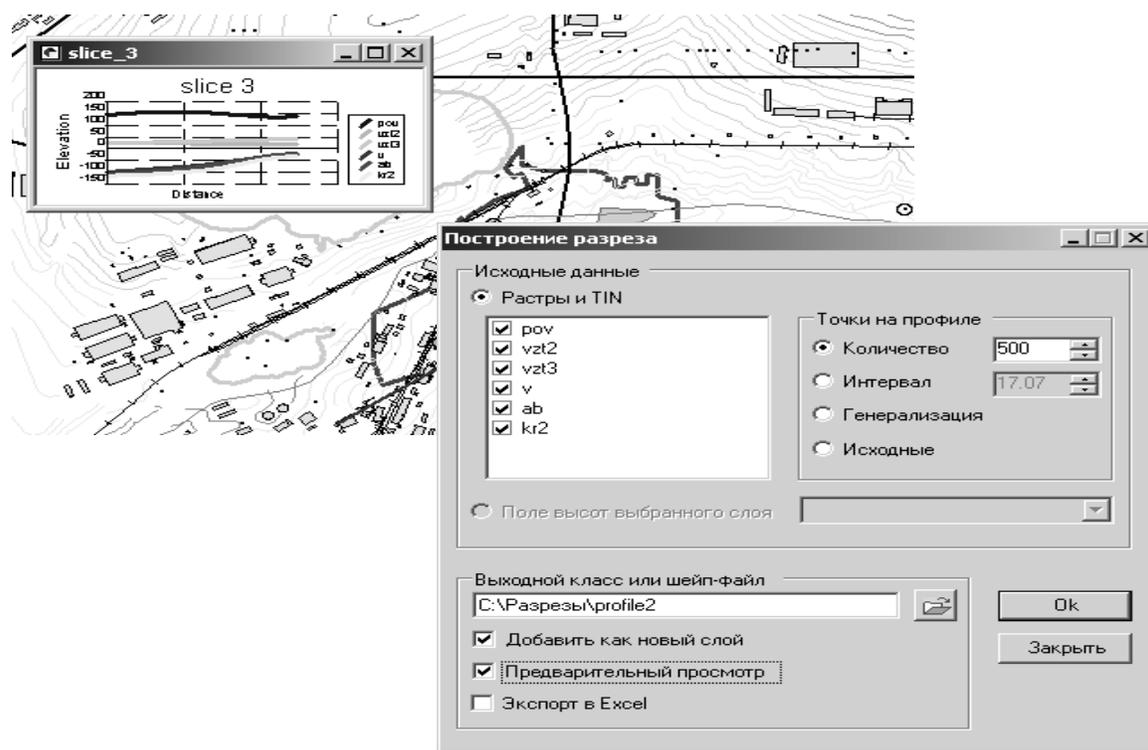


Рис. 2. Внешний вид и результат работы SliceMaker

Настоящий программный комплекс существенно повышает эффективность работы геологических служб рудников и служб геологического мониторинга. В настоящее время возможности существующего программного комплекса расширяются в зависимости от требований пользователей, база данных геологической разведки пополняется пользователями.

МЕТОДИКА КОМПЛЕКТАЦИИ БАЗ ГЕОДАНЫХ СТРОИТЕЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

За состояние зданий и сооружений горнодобывающего предприятия отвечает служба заместителя главного инженера по ремонту зданий и сооружений (отдел главного архитектора). Общая стоимость основных средств горнодобывающего предприятия очень высока, поэтому стоимость ошибки в процессе принятия решений по реконструкции или ремонту того или иного здания может привести к значительным материальным затратам. Общее количество сооружений на территории промышленных площадок ОАО «Сильвинит» приближается к тысяче единиц. Кроме этого, заместителю главного инженера по ремонту зданий и сооружений в ходе работ приходится взаимодействовать с другими службами: ОГМ (отделом главного механика), ОГЭ (отделом главного энергетика), руководителями производственных подразделений.

В процессе работы требуется разнообразная как графическая, так и атрибутивная информация разного масштаба. Решения могут приниматься как на уровне изменения земельного отвода при строительстве новых сооружений и прокладке коммуникаций, так и на уровне отдельного фрагмента (узла) зданий при усилении или реконструкции.

В соответствии с изложенными требованиями в лаборатории МГП ведется работа по созданию рабочего места заместителя главного инженера по ремонту зданий и сооружений.

Верхним уровнем системы является генеральный план промышленной площадки, выполненный на основе маркшейдерской съемки масштаба 1:2000 и 1:500 на основе единого классификатора, включающего в себя номер на генеральном плане и инвентарный номер учета в карточке основных средств. Графическая основа реализована в ArcGIS в виде проекта и базы геоданных.

Средний уровень системы включает в себя паспортные характеристики зданий и сооружений. Реализован в Access.

Нижний уровень системы включает в себя конкретные графические и текстовые документы, которые относятся к элементам конкретного здания или сооружения. Они реализованы в виде файловой структуры, состоящей из файлов документов в форматах .doc, pdf, .tiff, jpg. Этот уровень является наиболее емким, и в процессе комплектации базы данных объем работы над текстовыми и особенно графическими элементами составляет более 70% от общего объема в базе данных.

В первоначальном виде графические элементы – это бумажные носители формата А1, А0, многим из них 30 и более лет соответственно, и их состояние далеко от совершенства. Пришлось иметь дело с изображениями, испещренными крапинками, полными нелинейных искажений, нечетких и смазанных линий, текстов, размерных линий, стрелок, сложных символов, размытых объектов и т.п. Эти изображения часто содержат наиболее ценную информацию, которая должна быть извлечена и отфильтрована от ненужного шума. При сканировании и переводе в электронный вид происходит дополнительное искажение изображения (рис.1).

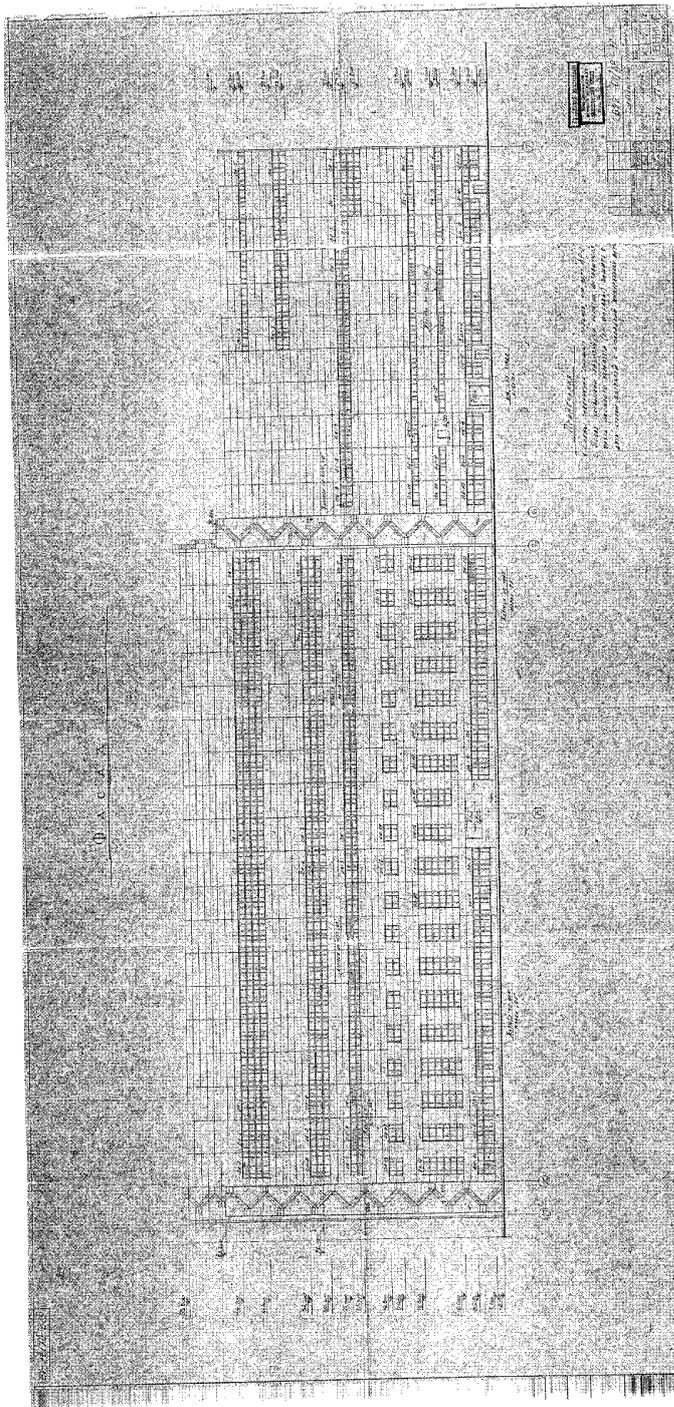


Рис. 1.

вать графические данные в заданном масштабе. При отображении на экране и печати можно регулировать внешний вид данных и их видимость в окне списка слоев. Можно определить текущие координаты в зависимости от положения курсора мыши в рабочем окне ГИС-проекта. Основным является окно вида, в котором при наведении курсора на объект промплощадки появляется всплывающая подсказка с его названием. При необходимости получения полной информации о конкретном объекте, ее занесения или пополнения выделяется объект и производится переход в карточку объекта. Карточка отображает полную информацию об объекте. В нее занесены общие паспортные данные по объекту, производственная и служебно-бытовая части. Каждый

Векторизация таких графических объектов требует ручной доводки и чистки, занимающей массу времени. Для обработки сканированных (растровых) изображений используется универсальный гибридный графический редактор – Spotlight. При помощи этой программы можно сканировать документы, повышать качество и устранять искажения растровых изображений, создавать и редактировать растровую и векторную графику и т.д. Spotlight с помощью большого набора инструментальных средств упрощает обработку потока документов и дает возможность решать сложные и нестандартные задачи.

Графический элемент после обработки показан на рис. 2.

Полученные откорректированные графические объекты являются компонентами графической информационной системы службы главного архитектора и относятся к ее нижнему уровню.

Система выполнена в виде базы геоданных, состоит из двух взаимосвязанных компонентов – цифровой картографической основы и реляционной базы данных с характеристиками объектов. Картографическая основа выполнена в местной системе координат и позволяет отображать на экране и распечатывать

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕФОРМАЦИОННЫХ СВОЙСТВ КВАЗИПЛАСТИЧНЫХ СОЛЯНЫХ ПОРОД

Разработанные к настоящему времени модели геомеханического поведения горных пород при крупномасштабных горных работах часто не позволяют исследовать процессы деформирования и разрушения массива при катастрофических явлениях, таких как техногенные землетрясения, горные удары, внезапные выбросы, приводящие к большому экономическому и социальному ущербу. Реальные горные массивы, как осадочные, так и изверженные (блочные структуры), представляют собой квазипластические среды, которые в зависимости от условий нагружения проявляют как упругие, так и пластичные свойства, реализуют реологические эффекты и обладают исходной анизотропией. Это особенно характерно для соляных пород. В этой связи математическое моделирование поведения квазипластичных породных массивов должно основываться на моделях, адекватно отражающих результаты экспериментальных исследований поведения пород при различных условиях нагружения особенно за пределом их несущей способности [1].

Механические характеристики горных пород зависят от множества факторов, важнейшими из которых являются: технические, связанные с особенностями изготовления образцов, типом испытательной машины и погрешностями измерительных устройств; методические, зависящие от технологии испытаний и обработки результатов экспериментов; горно-геологические, обусловленные изменчивостью минералогического состава, структуры, текстуры и т.д., присущие горным породам по природе их образования. Если исследованию закономерностей изменения прочностных параметров соляных пород от условий проведения эксперимента посвящено достаточно много работ [2, 3, 4 и др.], то вопрос исследования закономерностей их деформирования требует дополнительного изучения, что обусловлено необходимостью использования «жесткого» испытательного оборудования, обеспечивающего «контролируемый» режим нагружения [5, 6]. Этим требованиям удовлетворяют универсальные электро-механические испытательные машины (Instron 5670, Zwick Z-250 и др.), развивающее усилие не менее 100 кН и имеющее жесткость не менее 200 МН/м.

Метрологические исследования отечественной испытательной машины 1231У-10 показали, что наиболее деформативным (мягким) элементом является силоизмеритель, представляющий собой упругую скобу, аналогичную образцовому динамометру ДОС. Замена штатного силоизмерителя на более жесткий трубчатый тензодинамометр (4162 ДСТ) [7] позволила повысить жесткость пресса до $G = 250$ МН/м при линейной характеристике нагружения в диапазоне от 0,1 до 100 кН с погрешностью не более 1,0%. В этом случае можно проводить исследования прочностных и деформационных свойств соляных пород на цилиндрических (призматических) образцах площадью до 40 см² и высотой до 70 мм в режиме контролируемого разрушения. Для получения однородных выборок необходимо производить предварительную сортировку исследуемых образцов по степени их неоднородности, например, методом ультразвуковой дефектоскопии.

Для тонкослоистых соляных пород изготовление «высоких» образцов (с отношением высоты к поперечному размеру (h/d) равному 2,0) представляет определенную трудность даже при использовании «щадящего» режима резки. Это в наибольшей степени относится к испытанию карналлитовых пород. Сопостави-

тельные исследования соляных образцов различной формы показали, что равномерное поле напряжений в «низких» образцах (при $h/d \leq 2,0$) достигается при использовании тонких (0,1 мм) фторопластовых прокладок на контакте образца с плитами пресса. При «сухом трении» на торцах стабилизация деформационных параметров достигается при $h/d \geq 1,5$.

Соляные породы имеют нелинейный характер деформирования образцов под нагрузкой, что представляет определенную трудность при определении деформационных показателей. Деформационные модули, определяемые путем построения касательных или секущих для различных участков диаграммы нагружения, а также определенные по нагрузочным и разгрузочным её ветвям, могут отличаться на несколько порядков. Существенную трудность представляет изменение больших деформаций в средней части образца, особенно за пределом прочности (при разрушении). Исследованиями установлено, что для соляных пород различие между модулями, определенными по деформациям, измеренным в средней части образца и между торцами, не превышает 25%. Это обусловлено достаточно большими величинами продольных деформаций, достигающими 5–10% от высоты образца, по сравнению с долей деформаций смятия неровностей на торцах.

До настоящего времени нет единого мнения и конкретных рекомендаций по определению деформационных показателей для квазипластичных (соляных) пород [8, 5]. Большие деформации пластичности, даже при небольших нагрузках, существенное различие между нагрузочными и разгрузочными кривыми, зависимость характера деформирования от «истории» нагружения и условий на контактах образца с испытательной машиной ставят вопрос о необходимости четкого регламентирования условий эксперимента при определении деформационных констант. Постановка специальных исследований параметров деформирования соляных пород в широком диапазоне изменения условий эксперимента позволила разработать наиболее рациональную схему их испытания, обеспечивающую получение достоверной информации, отражающей поведение массива под нагрузкой.

Испытания на одноосное сжатие выполняются на образцах цилиндрической (призматической) формы с отношением $h/d \geq 1,0$ на «жестких» электро-механических прессах с записью полной диаграммы нагружения. Образцы испытываются между стальными плитами пресса (сухое трение) при скорости деформирования 1,0 мм/мин. Продольные деформации измеряются по величине хода траверсы (между торцами образца). Для исключения влияния шероховатости торцев образца и эффектов памяти горных пород предварительное поджатие образцов составляет $(0,1-0,15)\sigma_{сж}$. Деформирование образца за пределом прочности продолжается до выхода диаграммы нагружения на прямолинейный участок, характеризующий остаточную прочность. При оценке деформационных параметров определяют секущий и касательный модули деформации (нагрузочные модули). Модуль упругости определяется по разгрузочной ветви диаграммы деформирования образца, которая регистрируется при снятии нагрузки с уровня 0,6 - 0,7 $\sigma_{сж}$. При исследовании механических свойств соляных пород используется компьютерный измерительно-вычислительный комплекс, позволяющий регистрировать в реальном масштабе времени все механические параметры нагружения (усилия, деформации, акустическую эмиссию и т.д.) в процессе эксперимента, что позволяет получать также показатели длительной прочности при кратковременных экспериментах (ускоренный метод) [9]. В результате статистической обработки

получены эмпирические зависимости между деформационными показателями, определенными по различным методикам.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 04 –05 – 960310) и Интеграционного проекта УрО РАН № 05 –11 – 04.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Деформирование соляных пород / А.А. Барях А.А., С.А Константинова, В.А. Асанов. Екатеринбург, 1996. 203 с.
2. Физико- механические свойства соляных пород / Н.М. Проскураков, Р.С. Пермяков, А.К.Черников. Л.: Недра, 1973. 271с.
4. Каталог механических свойств горных пород при широкой вариации видов напряженно – деформированного состояния и скорости деформирования / А.Н. Ставрогин, Е.В. Лодус, Е.Ю. Семенова. Л.: ВНИМИ, 1976.196 с.
5. Каталог физических свойств горных пород Верхнекамского калийного месторождения: Учебное пособие. Часть 1 / В.Г. Зильбершмидт, О.А. Тимантеев, А.П. Митус. Пермь, 1976. 81с.
5. Прочность и деформируемость горных пород / Ю.М. Карташов, Б.В. Матвеев, Г.В. Михеев. М.: Недра, 1979. 269 с.
6. Прочность горных пород и устойчивость выработок на больших глубинах / А.Н. Ставрогин, А.Г. Протосеня. М.: Недра, 1985. 271 с.
7. Измерения в промышленности: Справочник. Т.2. М.: Металлургия, 1990. 382 с.
8. ГОСТ 28985-91. Породы горные. Метод определения деформационных характеристик при одноосном сжатии. М., 1991. 19 с.
9. Титов Б.В.Исследования и разработка метода определения длительной прочности соляных пород: Дис. ... канд. техн. наук. Л., 1984. 246 с.

В.Н. Токсаров

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МАСШТАБНОГО ЭФФЕКТА НА РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СОЛЯНЫХ ПОРОД

Под масштабным эффектом понимается зависимость механических свойств образцов пород в первую очередь прочности от их размеров. Данная зависимость должна учитываться при расчетах подземных конструкций, производимых по результатам лабораторных испытаний.

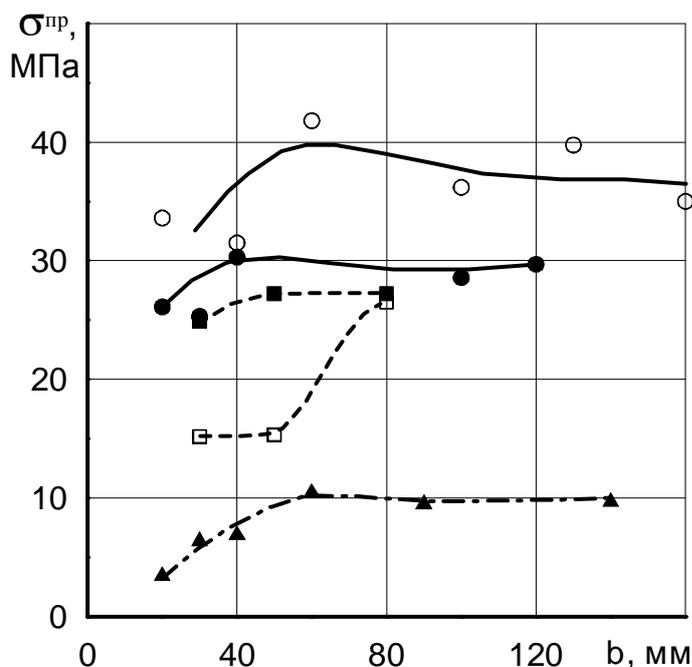
В соляных породах масштабный эффект проявляется следующим образом: при увеличении линейных размеров образцов в большинстве случаев растет и их предел прочности при сжатии, значение которого стабилизируется при достижении определенного порога [1]. Единого мнения по вопросу о влиянии масштабного эффекта на прочность образцов соляных пород в настоящее время не достигнуто, оптимальные для механических испытаний размеры образцов, по данным различных исследований [1, 2, 3], существенно отличаются. В данных работах не рассматривался вопрос о закономерностях изменения деформационных параметров.

Для уточнения влияния размеров испытуемых образцов на механические свойства соляных пород Верхнекамского месторождения калийных солей выполнена серия испытаний образцов карналлита, полосчатого и красного сильвинитов. Исследования проводились на кубических образцах в режиме «сухого» трения на

контактах. Красный сильвинит подразделялся на две партии с различной степенью зернистости по классификации Я.Я. Яржемского [4]: крупнозернистый (пл. КрII, сл. 5; размер зерна $\delta=2-2,5$ мм) и весьма крупнозернистый (пл. КрII, сл. 7; $\delta=5-6$ мм). Интервал изменения размеров образцов составил 30-80 мм. Полосчатый сильвинит был представлен двумя монолитами. Первый из них (блок 1) характеризовался слоистой текстурой с глинистыми прослоями. Вторым (блок 2) имел более монолитную текстуру. Зернистость обоих блоков приблизительно одинакова ($\delta=2-2,5$ мм). Размеры образцов карналлита и полосчатого сильвинита варьировались в диапазоне от 20 до 160 мм.

На рис. 1 показан график изменения разрушающей нагрузки в зависимости от размеров образцов соляных пород. Исследования показали, что с увеличением размеров образцов наблюдается выраженный рост предельного напряжения сжатия с последующей его стабилизацией. Характер изменения разрушающей нагрузки, по-видимому, обусловлен структурой соляных пород. Это отчетливо проявляется для образцов сильвинита пласта КрII (рис. 1), где при весьма крупнозернистом строении происходит более интенсивное нарастание прочности. Особенности структуры определяют также оптимальный для механических испытаний размер образца. На примере того же красного сильвинита видно, что стабилизация разрушающей нагрузки при размере зерна $\delta=2-2,5$ мм достигается на образцах размером 50 мм, а при $\delta=5-6$ мм – размером порядка 80 мм.

Для полосчатого сильвинита монолитной текстуры (блок 2) имеет место достаточно интенсивное повышение прочности при увеличении размеров образцов. Для более «слабых» по прочности образцов слоистой текстуры (блок 1) зависимость разрушающего напряжения от размеров является менее выраженной. Возможно, здесь сказывается влияние глинистых прослоев, которые обуславливают более однородное напряженное состояние образца. Для обоих блоков с различной текстурой стабилизация разрушающего напряжения происходит примерно при одних и тех же размерах – 50-60 мм. Это указывает, что выбор оптимальных размеров образцов в значительной степени связан с их зернистостью.



- - сильв. полосчатый (бл.1); ○ - сильв. полосчатый (бл.2); ▲ - карналлит;
- - сильв. красный (пл. КрII, сл. 5); □ - сильв. красный (пл. КрII, сл. 7);

Рис. 1. Зависимость разрушающей нагрузки от размеров образцов соляных пород

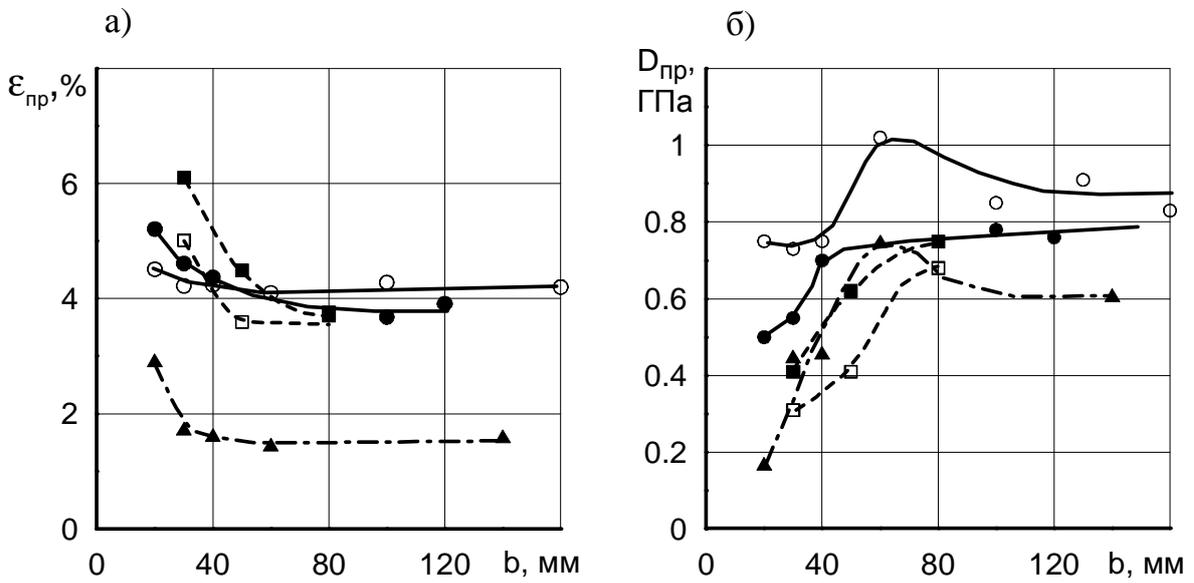


Рис. 2. Влияние масштабного эффекта на предельную деформацию сжатия (а) и секущий модуль деформации (б) образцов соляных пород

С увеличением размеров образцов всех рассматриваемых видов соляных пород деформация на пределе несущей способности уменьшается (рис. 2, а), а секущий модуль деформации растет (рис. 2, б). Однако здесь влияние структурно-текстурных особенностей прослеживается не столь явно, как у предела прочности на сжатие.

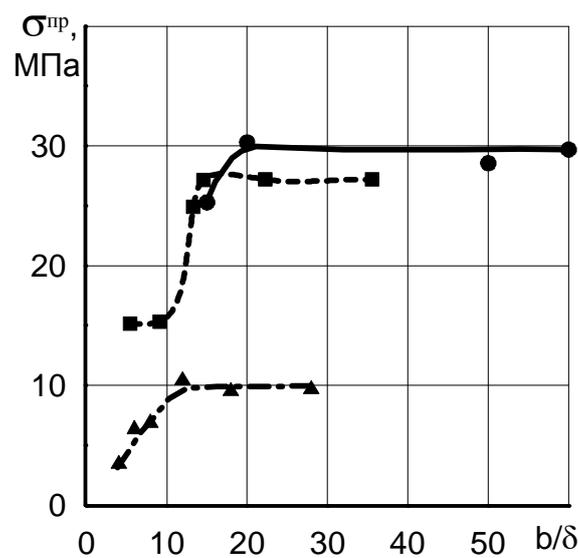


Рис. 3. Изменение прочности соляных пород при сжатии от отношения поперечного размера образца b к среднему размеру составляющих его зерен δ

Исследованиями установлено, что для обеспечения достоверных результатов испытания соляных пород размеры образцов должны находиться в определенном соответствии с характерными размерами зерен. В этой связи на примере сильвинита пласта КрII проведен анализ влияния на разрушающую сжимающую нагрузку безразмерного параметра, характеризующего соотношение размеров образца и зерна (рис. 3). Представленная кривая наглядно свидетельствует, что устойчивые определения прочностных свойств сильвинитовых и карналлитовых пород реализуются в случае, если поперечный размер образца включает не менее 20 зерен породы, тогда как для карналлитовых пород отношение поперечного размера образца к среднему размеру составляющих его зерен должно быть равным не менее 15. С учетом среднего размера зерна определение механических свойств карналлитовых и сильвинитовых пород целесообразно проводить на образцах с линейным размером не менее 60 мм. При испытаниях образцов меньших размеров значения показателей должны корректироваться с учетом масштабного коэффициента.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 04-05-96031) и Интеграционного проекта УрО РАН № 05-11-04.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Проскуряков Н.М., Пермяков Р.С., Черников А.К. Физико-механические свойства соляных пород. - Л.: Недра, 1973.
2. Зильбершмидт В.Г., Зильбершмидт В.В., Наймарк О.Б. Разрушение соляных пород. - М.: Наука, 1992.
3. Титов Б.В., Шинкевич С.Р. Результаты исследования масштабного эффекта на слоистых сильвинитовых образцах при одноосном сжатии // Разработка соляных месторождений. Пермь, 1982.
4. Атлас структур и текстур галогенных пород СССР. Л.: Недра, 1974.

И. Л. Паньков

О ВЛИЯНИИ ФОРМЫ ОБРАЗЦОВ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОЛЯНЫХ ПОРОД

Сохранение сплошности водозащитной толщи при отработке свиты пластов Верхнекамского месторождения калийных солей обеспечивается камерной системой разработки с оставлением ленточных поддерживающих целиков, параметры которых определяются горно-геологическими условиями. В то же время устойчивость целиков во многом определяется их формой - отношением высоты к поперечному размеру. В этой связи достаточно долгое время актуальными являлись исследования, направленные на изучение влияния высоты целиков на их прочностные характеристики. Непосредственное изучение несущей способности целиков в натуральных условиях представляется крайне затруднительным, а в большинстве случаев невозможным. Вследствие этого изучение влияния формы на прочностные свойства проводятся на образцах различной высоты в лабораторных условиях.

Испытаниями различных типов горных пород установлено, что сопротивление сжатию уменьшается с увеличением высоты (h) образцов при постоянной ширине (d) образца [1, 2]. При малых значениях отношения $h/d < 1$ изменение прочности происходит более интенсивно. Относительно высокая прочность «низких» образцов объясняется влиянием сил трения между их опорными гранями и плитами пресса, которые препятствуют деформации

рованию образца в поперечном направлении, что обуславливает неоднородное поле напряжений в его торцевых частях. Следовательно, образец малой высоты будет находиться в объемно-напряженном состоянии и характеризоваться повышенной прочностью. В образцах с отношением $h/d \geq 2$, как правило, реализуется равномерное напряженное состояние, близкое к одноосному сжатию, что обеспечивает более достоверную оценку предела прочности. В этой связи ГОСТом [3] рекомендуется проводить стандартные испытания при «сухом» трении на образцах с отношением $h/d=2$. При определении прочностных свойств на образцах с отношением $h/d < 2$ производится их пересчет на стандартные условия испытаний. Коэффициент пересчета получил название коэффициента формы (K) и в геомеханической практике используется не только для определения предела прочности образцов горных пород, но и для оценки несущей способности конструктивных элементов подземной разработки, в частности целиков различного назначения.

В разное время исследователями, занимающимися изучением прочностных свойств горных пород было предложено достаточно много эмпирических зависимостей для расчета коэффициента формы – формулы Церна, Баушингера, ВНИМИ, УФ ВНИИГа и т.д. [1, 2, 4]. По поводу универсальности расчета коэффициента формы существуют различные мнения. Так, в одних работах [2] указывается, что формулы пересчета должны быть единообразными для различных горных пород. В других работах [1], наоборот, отмечается зависимость коэффициента формы от типа породы, ввиду отличительных особенностей их состава и структуры.

При проведении геомеханического анализа состояния (устойчивости) целиков желательнее иметь информацию не только о характере изменения прочности в зависимости от отношения h/d , но и о деформационных (допредельных и запредельных модулях деформирования, предельной деформации) показателях, а также энергоемкости разрушения. В то же время, влияние формы образцов на данные механические характеристики горных пород, требующие использования полных диаграмм деформирования, изучены значительно хуже, по сравнению с прочностью, или нуждаются в уточнении.

В качестве основных показателей деформирования были выбраны: начальный модуль деформации, предел прочности, деформация на пределе прочности, модуль спада, энергоемкость разрушения, дающие достаточно полную информацию о поведении образца под нагрузкой.

Изучение закономерностей изменения основных деформационных показателей выполнялось на цилиндрических образцах соляных пород (каменная соль, сильвинит, карналлит) при изменении их формы (h/d) от 0,3 до 2,5, с поперечными размерами d – 40 и 60 мм. Испытания на сжатие проводились на жестком оборудовании при стандартных условиях деформирования. Всего было испытано порядка 200 образцов.

Анализ результатов показал, что при определении коэффициента формы каменной соли и сильвинита наиболее близкие значения дает формула предложенная УФ ВНИИГом [4]. Расхождение результатов находится в пределах 15-25 %. Для карналлитовой породы известные формулы для вычисления коэффициента формы дают достаточно высокую погрешность. По данным испытаний разновысоких образцов, коэффициент формы для карналлитов предложено определять по эмпирической зависимости:

$$K = 0,52 + 0,96 \frac{d}{h}.$$

Анализ результатов исследований позволил построить эмпирические зависимости, устанавливающие взаимосвязь между механическими параметрами диаграммы деформирования и формой образца (приведены ниже).

Таблица

Эмпирические зависимости изменения механических параметров при сжатии соляных пород в зависимости от формы образца

Порода	Определяемые параметры				
	σ_{np} , МПа	ε_{np} , %	D_y , ГПа	M_{np} , ГПа	W_v , МДж/м ³
Каменная соль	$10,97 \cdot \frac{d}{h} + 15,71$	$3,64 \cdot \frac{d}{h}$	$1,73 \cdot \frac{h}{d}$	$-0,55 \cdot \frac{h}{d}$	$1,32 \cdot \left(\frac{h}{d}\right)^{-1,67}$
Сильвинит	$9,45 \cdot \frac{d}{h} + 16,47$	$5,18 \cdot \frac{d}{h}$	$1,40 \cdot \frac{h}{d}$	$-0,32 \cdot \frac{h}{d}$	$2,08 \cdot \left(\frac{h}{d}\right)^{-1,88}$
Карналлит	$7,90 \cdot \frac{d}{h} + 4,14$	$0,90 \cdot \frac{d}{h}$	$1,56 \cdot \frac{h}{d}$	$-0,72 \cdot \frac{h}{d}$	$0,09 \cdot \left(\frac{h}{d}\right)^{-1,82}$

Установлено, что абсолютная деформация, соответствующая пределу прочности, для каждого типа соляных пород остается постоянной практически во всем диапазоне варьирования высоты образца и изменяется только в зависимости от его поперечного размера. Данный вывод представляется крайне важным и может использоваться при оценке критических деформаций целиков соляных пород.

Удельная энергоемкость разрушения горной породы увеличивается с уменьшением высоты образца, а характер ее изменения достаточно хорошо описывается степенными зависимостями [5].

Показано, что между модулем деформации на линейном участке диаграммы деформирования и формой образца существует линейная взаимосвязь. Аналогичная зависимость наблюдается для модуля спада при изменении h/d . Необходимо отметить, что секущий модуль спада, в отличие от модуля хрупкости [2], является осредненной характеристикой запредельного деформирования и в ряде случаев дает весьма приблизительную оценку удароопасности горной породы. Это замечание в достаточно полной мере можно отнести к карналлитовым породам, для которых необходимо с некоторой осторожностью использовать полученное соотношение.

Результаты исследований предполагается использовать при геомеханической оценке устойчивости междукammerных целиков рудников ВКМКС на участках отработки пластов различной мощности.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 04-05-96031) и Интеграционного проекта УрО РАН № 05-11-04.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Свойства горных пород и методы их определения / Е.И. Ильницкая, Р.И. Тедер, Е.С. Ватолин, М.Ф. Кунтыш. – М.: Недра, 1969, - 392 с.
2. Прочность и деформируемость горных пород / Ю.М. Карташов, Б.В. Матвеев, Г.В. Михеев, А.Б. Фадеев. – М.: Недра, 1979. - 269 с.
3. ГОСТ 21153.2-84 Породы горные. Методы определения предела прочности при одноосном сжатии. - М., 1985. - 10 с.
4. Методическое руководство по ведению горных работ на рудниках Верхнекамского калийного месторождения / Уральский филиал ВНИИГ. – М.: Недра, 1992. – 468 с.
5. Паньков И.Л. Исследование влияния формы образцов на энергоемкость разрушения квазипластичных пород // Материалы науч. сессии ГИ УрО РАН. - Пермь, 2004. – С. 213-214.

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ДЕФЕКТНОСТИ СОЛЯНЫХ ПОРОД

Физико-механические свойства горных пород во многом определяются структурно-текстурными особенностями их строения, в том числе во многих исследованиях приводятся данные о тесной взаимосвязи между начальной дефектностью образцов горных пород и их механическими параметрами [1, 2 и др.]. В работе [3] установлено, что снижение предела прочности связано с возрастанием относительного среднеквадратичного отклонения интенсивности γ – излучения, что соответствует увеличению степени нарушенности образцов. В 1928 году С.Я. Соколов при исследовании распространения ультразвуковых волн в твердых телах обнаружил, что образцы, имеющие внутренние дефекты, например, трещины или раковины, пропускают звук намного хуже по сравнению с образцами, которые не имеют дефектов. Несколько позже, по мере усовершенствования метода прозвучивания, в 1938-1939 годах Мейер и Бухман, а затем Мейер и Бок стали с успехом применять ультразвук для обнаружения невидимых трещин в железобетонных балках [4]. В настоящее время методы, основанные на измерении скоростей прохождения упругих волн, получили широкое распространение при оценке степени дефектности горных пород в лабораторных и натуральных условиях.

Целью данного исследования является нахождение связи между механическими параметрами соляных пород и степенью их нарушенности. Для соляных пород, характеризующихся тонкослоистой структурой, дефектность также будет преимущественно ориентирована параллельно слоям. Степень их неоднородности предложено оценивать по соотношению скоростей прохождения упругих ультразвуковых колебаний (УЗК) вдоль и поперек напластования ($K_v = V_v/V_{\Pi}$). Этот показатель обозначим как коэффициент дефектности. При отсутствии дефектов и выраженной слоистости отношение этих скоростей будет стремиться к единице. Если образец имеет скрытые внутренние дефекты, то это отношение будет существенно меньше единицы (минимально наблюдаемое на практике значение для соляных пород равно 0,58).

Для обнаружения вышеуказанных связей были проанализированы результаты испытаний свыше 200 образцов, представляющих все слои пласта КрII трех рудников ОАО «Сильвинит». Цилиндрические образцы с соотношением высоты к диаметру 1:1 испытывались на жестком электромеханическом прессе 1231У-10 с записью полной диаграммы деформирования. Измерение скорости распространения продольных УЗК производилось ультразвуковым прибором УК-10ПМС, предназначенным для неразрушающего контроля изделий из различных материалов, в том числе и горных пород.

Обработка экспериментальных данных проводилась в рамках линейной регрессионной модели. Перечень определяемых при испытаниях образцов механических параметров приведен в табл. 1. Для повышения тесноты связи между указанными параметрами произведено усреднение всех исходных данных по интервалам значений коэффициента дефектности. Корреляционный анализ данных показал (табл. 2), что наиболее тесная

связь наблюдается между коэффициентом дефектности и двумя основными механическими параметрами: пределом прочности при сжатии ($r = 0,96$) и касательным модулем ($r = 0,88$), затемненные ячейки.

Корреляционные зависимости между средними значениями механических параметров ($\sigma_{сж.}$, d_y) и коэффициентом дефектности K_V можно представить в виде:

$$Y = b_0 + b_1 X^n, \quad (1)$$

где n – показатель степени: для $\sigma_{сж.}$ $n = 3$, для D_y $n = 5$. Значения коэффициентов b_0 и b_1 , входящих в уравнения связи, а также основные статистические характеристики уравнений представлены в табл. 3.

Таблица 1

Перечень определяемых параметров, их условные обозначения и единицы измерений

Усл. обознач.	Определяемый показатель	Ед. изм.
$\sigma_{сж.}$	предел прочности на одноосное сжатие	МПа
D_y	модуль деформации (касательный) на пределе упругости	ГПа
$D_{пр.}$	модуль деформации (секущий) на пределе прочности	ГПа
ε_y	относительная продольная деформация, соответствующая пределу упругости	%
$\varepsilon_{пр.}$	относительная продольная деформация, соответствующая пределу прочности (разрушающая деформация)	%
E	модуль упругости, определенный по разгрузочной ветви диаграммы деформирования	ГПа
M	модуль спада, определенный по запредельной ветви диаграммы деформирования	ГПа
V_{\perp}	скорость прохождения упругой волны перпендикулярно слоистости	м/сек
V_{\parallel}	скорость прохождения упругой волны вдоль слоистости	м/сек

Таблица 2

Корреляционная матрица между средними значениями механических параметров и коэффициента дефектности для образцов пласта КрII

Переменные	$\sigma_{сж.}$, МПа	ε_p , %	ε_y , %	$D_{пр.}$, ГПа	D_y , ГПа	E , ГПа	M , ГПа	K_V
$\sigma_{сж.}$, МПа	1,00	0,12	-0,41	0,63	0,88	-0,73	-0,31	0,96
ε_p , %	0,12	1,00	0,48	-0,69	-0,20	-0,20	-0,75	0,21
ε_y , %	-0,41	0,48	1,00	-0,65	-0,77	-0,13	-0,58	-0,45
$D_{пр.}$, ГПа	0,63	-0,69	-0,65	1,00	0,77	-0,41	0,38	0,52
D_y , ГПа	0,88	-0,20	-0,77	0,77	1,00	-0,39	0,06	0,88
E , ГПа	-0,73	-0,20	-0,13	-0,41	0,39	1,00	0,44	-0,56
M , ГПа	-0,31	-0,75	-0,58	0,38	0,06	0,44	1,00	-0,28
K_V	0,96	0,21	-0,45	0,52	0,88	-0,56	-0,28	1,00

Таблица 3

Значения коэффициентов и статистические характеристики уравнений связи между средними значениями показателя дефектности и механических параметров

Независим. переменная	Зависим. переменная.	b_0	b_1	R^2	p	$F_{(1,7)}$
K_v	$\sigma_{сж}$	21,20397	4,74410	0,933863	0,000022	98,84
	D_y	2,04351	1,42956	0,863468	0,000290	44,27

Из табл. 3 видно, что полученные уравнения связи характеризуются достаточно высоким значением коэффициента детерминации, F-критерия и уровня значимости [5].

Таким образом, результаты исследований позволяют сделать следующие выводы:

1) между коэффициентом дефектности и механическими параметрами соляных пород существует тесная корреляционная связь;

2) предварительная сортировка образцов по величине коэффициента дефектности позволяет существенно уменьшить разброс определяемых показателей при экспериментах, требующих при испытании идентичных образцов - близнецов;

3) уравнения взаимосвязей связи можно использовать для прогнозирования прочностных и деформационных параметров соляных пород при геофизических исследованиях геологоразведочных скважин и экспресс-анализе в натуральных исследованиях в шахте.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Разрушение соляных пород / В.Г. Зильбершмидт, В.В. Зильбершмидт, О.Б. Наймарк. М.: Наука, 1992. 144 с.
2. Барях А.А. Оценка влияния неоднородности состава и строения на прочностные свойства соляных пород / А.А. Барях, В.А. Асанов // Горная геофизика: Тез. докл. VI Междунар. семинара. Пермь, 1993. С. 31-32.
3. Деформирование соляных пород / А.А. Барях, С.А. Константинова, В.А. Асанов. Екатеринбург.: УрО РАН, 1996. 203 с.
4. Ультразвук и его применение в науке и технике / Л. Бергман. М.: Изд-во иностранной лит-ры, 1957. 726 с.
5. Боровиков В. Statistica: искусство анализа данных на компьютере. Для профессионалов. СПб.: Питер, 2001. 656 с.

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ КОНТРОЛЯ ОПАСНОСТИ ОПОЛЗНЕВЫХ ЯВЛЕНИЙ АКУСТОЭМИССИОННЫМ МЕТОДОМ

При проектировании горнолыжной трассы спортивного комплекса «Нечкино», располагающегося вблизи г. Ижевска, выявилась опасность сползания пород склона в местах расположения опор канатной дороги. Для оценки возможности прогнозирования данного явления были проведены исследования характера деформирования и разрушения вмещающих пород при нагружении. Физико-механические свойства определены для основных разновидностей пород, слагающих склон (песок, глина, алевролит, аргиллит). Пробы грунтов отбирались из 7 скважин, пробуренных вдоль трассы канатной дороги (глубина отбора до 17 м от поверхности). Из kernового материала изготавливались образцы цилиндрической формы с отношением высоты к диаметру, равным единице. Испытания на одноосное сжатие проводились в режиме контролируемой деформации, что позволяло получить полные диаграммы нагружения. Помимо параметров, полученных при испытаниях на одноосное сжатие, определялись также предел прочности на растяжение, влажность и объемная масса образцов. Дополнительно проведены исследования прочности образцов при «срезе со сжатием». В процессе испытания образцов при сжатии производилась регистрация акустической эмиссии (АЭ) с помощью прибора «АЭР-Комби». Для измерения и регистрации контролируемых величин (нагрузки, продольной деформации и суммарного числа импульсов АЭ), расчета и статистической обработки показателей физико-механических свойств использовалась компьютеризированная измерительная система.

Анализ результатов исследования физико-механических свойств пород выявил их значительную изменчивость как по глубине, так и по длине трассы. Так, предельное сжимающее напряжение изменяется от 0,23 до 1,59 МПа – почти в 7 раз, а модуль деформации изменяется от 6 до 34 МПа. Снижение прочности пород в скв. №56 и №57 (в интервале от 4 до 10-12 м) можно объяснить их повышенной обводненностью.

Особое внимание при исследовании механических свойств пород склона уделялось изучению процесса выделения импульсов АЭ. Оценка интенсивности накопления повреждений образцом при нагружении производилась по скорости счета импульсов (активности) АЭ ($V_{aэ}$), определяемой из выражения:

$$V_{aэ}(t) = \Sigma N(t) - \Sigma N(t-1),$$

где $\Sigma N(t)$ – количество импульсов АЭ в текущий момент времени; $\Sigma N(t-1)$ – количество импульсов АЭ в предыдущий момент времени (на секунду раньше).

Как известно, явление АЭ сопровождает любые изменения структуры твердых материалов. Исследования различных типов горных пород показывают, что между процессами деформирования и выделения импульсов АЭ существует тесная связь [1]. Совместная интерпретация диаграмм «напряжение (σ) – продольная деформация (ε)» и « $V_{aэ} - \varepsilon$ » позволяет по их характерным особенностям идентифицировать этапы процесса трещинообразования и разрушения породы (рис. 1). Участок упругих деформаций характеризуется отсутствием микроразрушений и, соответственно, отсутствием импульсов АЭ (зона I). С появлением микроразрушений возникает АЭ. Рост числа микротрещин при нагружении сопровождается увеличением активности АЭ и заканчивается формированием ансамблей трещин (зона II), по которым происходит развитие магистральных трещин (зона III) [2]. При деформировании образца за пределом прочности активность АЭ сни-

жается (зона IV). Выход на участок остаточной прочности не сопровождается изменением характера выделения импульсов АЭ и поэтому не идентифицируется. Интерпретация в конкретных условиях динамики изменения активности АЭ во времени позволяет оценить состояние и устойчивость горных массивов [3].

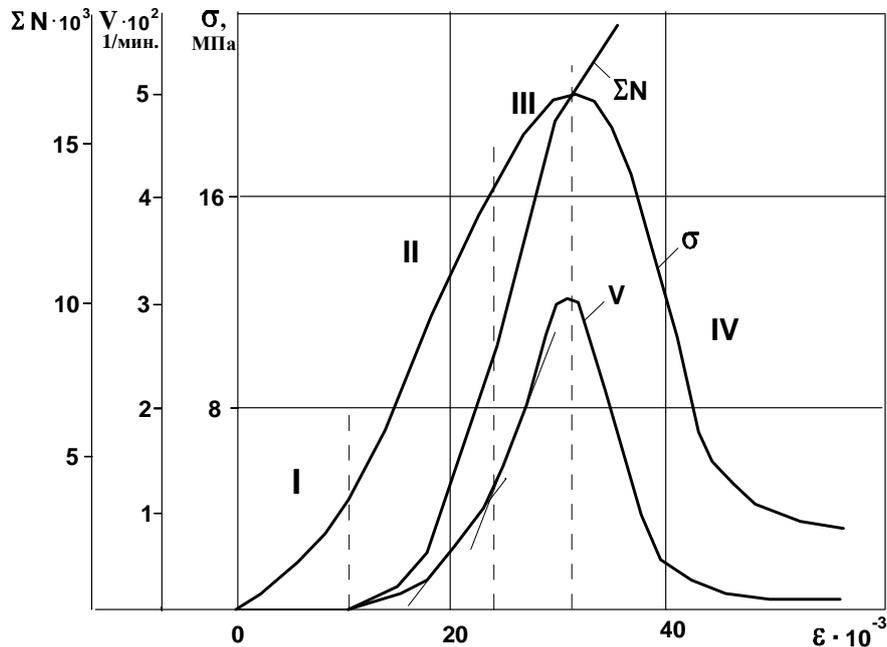


Рис. 1. Характерная диаграмма деформирования образца полускальистой горной породы (каменная соль)

Анализ результатов исследований пород горнолыжной трассы позволил выявить некоторые особенности процесса выделения АЭ. На допредельной стадии деформирования образца (рис. 2) активность АЭ возрастает, достигая локального максимума вблизи предела прочности. При дальнейшем деформировании образца (за пределом прочности) возможны различные варианты изменения активности АЭ.

Для первой группы образцов характерна невысокая скорость выделения АЭ, которая не претерпевает значительных изменений на запредельной стадии. Суммарное количество импульсов может быть довольно большим за счет продолжительного периода накопления импульсов АЭ. Такая закономерность может быть объяснена регистрацией АЭ при взаимном трении минеральных частиц образца относительно малого размера, что имеет место при пластическом деформировании несвязных грунтов (пески).

Для второй группы образцов отмечается, что после перехода через максимум нагрузки и активность АЭ падает, а затем вновь возрастает, достигая значений, близких к уровню предыдущего максимума. Таким образом, в процессе запредельного деформирования образцы могут иметь несколько подъемов активности АЭ. Общей особенностью для всех диаграмм « $V_{aэ} - \epsilon$ » является соответствие выраженных локальных экстремумов активности АЭ перегибам на кривой деформирования ($\sigma - \epsilon$). В рамках теории хрупкого разрушения геоматериалов это объясняется максимальным ростом структурных дефектов на этой стадии подготовки акта макроразрушения с последующей разгрузкой напряжений и спадом активности АЭ. Наличие нескольких максимумов активности АЭ, вероятно, связано с подготовкой и реализацией нескольких актов разрушения за счет формирования магистральных макротрещин. Этот механизм соответствует хрупкому разруше-

нию квазипластичных материалов, какими являются аргиллиты и алевролиты, представленные в разрезе толщи пород горнолыжного склона.

Таким образом, высокая активность АЭ сопутствуют активному процессу разрушения с образованием значительных нарушений в структуре материала, обусловленных главным образом ростом и слиянием трещин. Низкая активность сопровождается меньшими структурными изменениями, сопровождаемые взаимным трением зерен и берегов трещин.

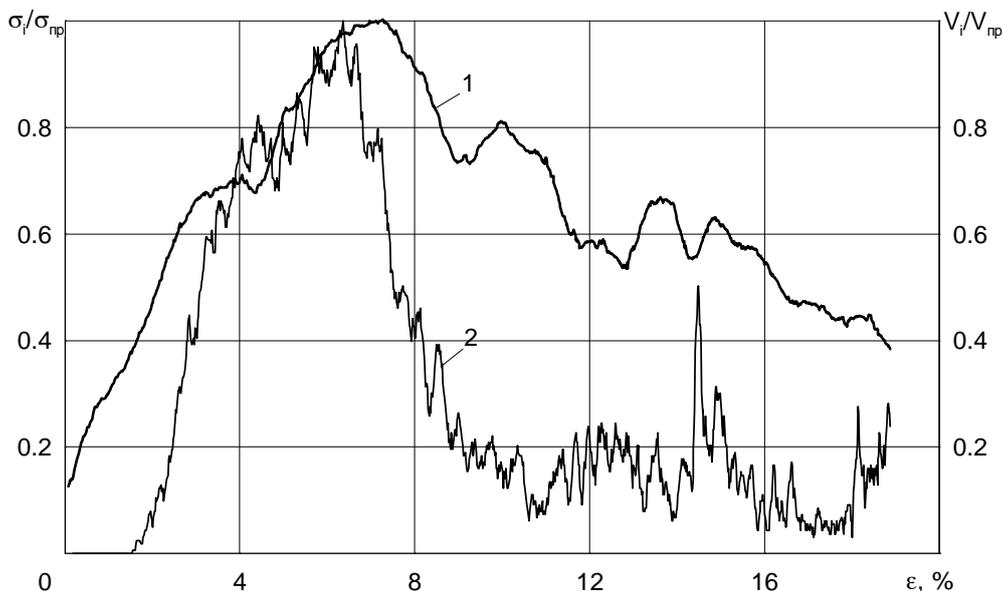


Рис. 2. Диаграмма деформирования (1) и график нарастания активности АЭ (2) для образца алевритистой глины

В результате проведенных исследований установлено, что активность АЭ имеет отчетливую связь с текущей стадией процесса деформирования для крепких (полускальных) разновидностей пород, что позволяет использовать данное явление для контроля состояния техногенно-нагруженного массива пород склона горнолыжной трассы. Адаптация методики контроля для практического применения требует более детальных лабораторных и натурных исследований, устанавливающих критериальные значения параметров АЭ с учетом строения массива и механизмов разрушения при оползнях. Перспективным для исследований представляется проведение анализа частотного и амплитудного спектров полного пакета акустических сигналов, сопутствующих процессам деформирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В.Л. Шкуратник, Ю.Л. Филимонов, С.В. Кучурин. Экспериментальные исследования акустической эмиссии в образцах угля при одноосном нагружении // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – Новосибирск, 2004. – С. 42-49.
2. Акустоэмиссионный эффект памяти в горных породах / А.В Лавров., В.Л. Шкуратник., Ю.Л. Филимонов. М.: Изд-во МГГУ, 2004. – 456 с.
3. Леонтьев А.В. Разработка методов и инструментальных средств геомеханического мониторинга породных массивов: Дис. ... д-ра техн. наук. – Новосибирск, 1997. – 365 с.

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ МЕЖДУКАМЕРНЫХ ЦЕЛИКОВ ПРИ ОТРАБОТКЕ СИЛЬВИНИТОВЫХ ПЛАСТОВ ВЕРХНЕКАМСКОГО КАЛИЙНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Безопасность ведения горных работ и сохранность дневной поверхности на Верхнекамском калийном месторождении (ВКМКС) во многом определяется обоснованностью выбора параметров ведения горных работ. В связи с увеличением объёмов добычи калийных руд и вводом в эксплуатацию новых участков существенно возрос диапазон изменчивости горно-геологических условий, что обусловило значительное разнообразие параметров системы разработки и форм проявления горного давления. Несмотря на то что расчёты параметров отработки ведутся согласно нормативным документам [1], учитывающим основные влияющие факторы, в некоторых случаях оседания дневной поверхности превосходят расчётные. Это свидетельствует о том, что обеспечение устойчивости элементов камерной системы разработки является весьма сложной проблемой.

Для оценки состояния подработанного массива проведено обследование междукамерных целиков, потолочин очистных камер (междупластий), сопряжений с выемочными и вентиляционными штреками. При обследовании состояния выработок обращалось внимание на развитие сети трещин в целиках (ориентировка и ширина раскрытия), размеры вывалов из стенок, размеры отслоений из кровли камер (глубина и площадь), пучение почвы, состояние сопряжений выработок. Дополнительно при анализе использовалась информация об особенностях строения продуктивной толщи, сроках отработки и закладки, сдвигении земной поверхности.

Анализ фактического состояния выработок на руднике БКПРУ-2, где отработка сильвинитовых пластов КрII и АБ ведётся с «податливыми» целиками, показал, что активная стадия деформирования наступает через 1,0-1,5 года и продолжается около 4 лет. Максимальные оседания, зафиксированные на шахтном поле, составили 2638 мм. Наибольшие скорости сдвижения приходятся на второй год активной стадии. На стабилизацию процесса сдвижения влияет срок внесения закладки, которая снижает нарастание оседаний во времени, особенно спустя 1,0-1,5 года. Опытные работы по проходке горных выработок в отработанном массиве показали, что через 10-15 лет междукамерные целики полностью разрушаются, а кровля очистных выработок смыкается с почвой, образуя новый «техногенный пласт».

На руднике СКРУ-2 отработаны два (КрII и АБ), а на некоторых участках и три пласта (с оставлением междупластий КрII-А и Б-В или комбинированным способом с обрушением междупластья Б-В). В западной части шахтного поля (гор. -220 м), несмотря на уменьшение глубины горных работ, наблюдается общее ухудшение состояния очистных камер. На I и II СЗП состояние подготовительных выработок удовлетворительное, а в очистных камерах отмечаются заколы и локальные обрушения кровли до пласта КрI. Обследование очистных камер III и IV СЗП (гор. -220 м) показывает, что проявления горного давления имеют повсеместное распространение. Отслаивавшиеся породы междупластья КрII-А полностью заполняют камеры, межходовые целики разрушены. На выемочном штреке в кровле имеют место отслоения сильвинита, пучение почвы, поперечные трещины в стенках, проход во многих местах невозможен. Анализ процессов сдвижения показывает, что на этом участке имеют место ускоренные оседания со скоростями

более 70 мм/месяц, что привело к опусканию земной поверхности до 4,0 м, образованию техногенного озера и заболачиванию участка. В юго-восточных панелях гор. -220 м состояние кровли очистных камер также плохое. Обрушения пород междупластья достигает пласта КрI, а по пласту АБ повсеместно обрушена нижняя пачка соли Б-В, межходовые целики разрушены, отмечается пучение почвы, разрушение горловин камер.

Обследования состояния выработок на участке трехпластовой выемки (район массового обрушения целиков, II СВП, СКРУ-2), проводимые маркшейдерской службой рудника до обрушения (акты обследования от 05.09.94 и 14.12.94 гг.), показали, что в контуре аварийного участка очистные камеры имели неудовлетворительное состояние. Повсеместно наблюдалось обрушение коржей и оставленного в кровле сильвинита, частичное обрушение пласта КрI с обрушением междупластья КрII - А. По пласту АБ в районе камер № 92-103 наблюдалось пучение почвы (до 0,7 м), разрушение межходовых целиков, отслоение пачки сильвинита с карналлитом. В горловинах камер № 103-113 имелись заколы соли по пласту Б-В, в камерах № 107-119 по пласту КрII встречались трещины в междукамерных целиках с шириной раскрытия до 2,0-3,0 см.

Наблюдения за устойчивостью выработок и сдвижением пород на руднике БКПРУ-1, ведущим горные работы под территорией городской застройки с оставлением «жестких» целиков, показали, что активная стадия их сдвижения может начаться спустя 20 - 40 лет после окончания горных работ. Так, на 3 восточной панели, где в 1973-1974 годах отработан пласт КрII, в 1995 году была замечена активизация процесса сдвижения. Максимальные скорости оседания реперов составили 252 мм/год. На земной поверхности над очистными выработками расположены школа и жилые дома. Здание школы из-за ускоренного процесса сдвижения в конце 1996 года и в начале 1997 года испытывало предельно-допустимые деформации, что выражалось в раскрытии трещин между оконными проемами, в появлении трещин в фундаменте. Обследование междукамерных целиков на этом участке показало, что их приконтурный слой разбит серией трещин с шириной раскрытия до 2-5 см. Глубина зоны трещинообразования составляет 0,8-1,2 м. На отдельных участках нарушенная порода полностью отделилась от массива. В кровле очистных камер наблюдается повсеместное отслоение «коржей». Вывалы из кровли достигают глубины 0,2-1,2 м и протяженности по длине камеры до 8-12 м. Фактическая ширина целиков составила 7,6 м, что на 24 % меньше проектной.

Для условий 4 западной панели рудника БКПРУ-1 при расчетной ширине «жесткого» целика $b = 11,0$ м и расчетной степени его нагружения $C = Q/P = 0,3$ по истечении 18 лет приконтурный слой пород разрушился на глубину 1,7-2,5 м, следовательно, изменилась площадь сечения целика, и возросла нагрузка. Как показали расчеты, выполненные по стандартной методике, коэффициент нагружения в этом случае составляет 0,56, т.е. целик перешел в податливый режим работы и будет иметь ограниченный срок службы. Этот факт подтверждается наблюдениями за сдвижением горных пород на дневной поверхности. В мульде сдвижения над 4 ЗП выявилась зона повышенных оседаний. Максимальная величина оседаний составила 3648 мм.

Результаты обследования очистных выработок рудника СКРУ-1 показали, что при трехпластовой отработке спустя 10-15 лет кровля камер на многих участках пластов АБ и КрII обрушается, в целиках наблюдается шелушение и заколообразование, состояние подготовительных выработок и сопряжений, как правило, неудовлетворительное. Многие панели (блок 15) полностью «задавлены». Следует отметить, что при большой мощности междупластья (5 м и более) потолочины

находятся в лучшем состоянии. С уменьшением мощности их состояние ухудшается (блок 97). С увеличением глубины отработки интенсивность разрушения потолочин выше. Так, выработки блоков 1, 3, находящихся на глубине 240-280 м от земной поверхности, даже спустя 40-50 лет после отработки, находятся в удовлетворительном состоянии, в то время как выработки блоков 123, 103, отработанные в 1980-88 годы на глубине 340-380 м, полностью «задавлены». Камеры блоков 125, 127, 129, отработанные без закладки в период с 1965 по 1977 годы также полностью «задавлены», оседания земной поверхности над этими участками достигают 3,5 м. В то же время, камеры блоков 40, 42, 44, 52, отработанные в 50-60 годы и заложенные в 1984 году, находятся в хорошем состоянии. Сдвигения пород нет. Выработки блоков 8, 12, отработанных в 1948-51 годах без закладки, находятся в удовлетворительном состоянии. Как правило, по пласту АБ имеются частичные (участками по 10-20 м) обрушения каменной соли Б-В, иногда захватывающие I слой пласта В_к. В стенках целиков отмечается шелушение, осадка выработок составляет 20-30 см, что связано с влиянием соседнего неотработанного массива. Камеры блоков 5, 11, отработанных в 1937-41 годах, находятся в неудовлетворительном состоянии (обрушение междупластья, отслоения пород со стенок целиков), сопряжения «задавлены». Аналогичное состояние в выработках блоков 93, 75, 117, 151, 119, 153, 99, 101, отработанных в 60-70 годах. Эти участки соответствуют зонам значительных сдвижений поверхности 2,0-3,5 м.

Таким образом, анализ результатов обследования состояния кровли очистных камер, стенок целиков на отработанных площадях и анализ результатов наблюдений за сдвижением земной поверхности позволили выявить общие закономерности деформирования подработанной толщи, зависящие от геологического строения, глубины ведения горных работ, параметров системы разработки, времени отработки, наличия закладки и т. д.

На участках трехпластовой отработки горное давление первоначально проявляется на нижнем пласте КрII: острые углы целиков на сопряжениях камер с выемочным штреком покрываются трещинами, параллельно протекает процесс разрушения межходовых целиков (при наличии таковых), затем процесс трещинообразования распространяется на горловины камер и со временем перемещается вглубь. В кровле камер появляются трещины с шириной раскрытия до 10 мм и происходит заколообразование; в почве проявляется пучение. На верхних пластах АБ и В горное давление проявляется с некоторым запаздыванием. Разрушение междупластья КрII-А проходит в несколько этапов: заколообразование, обрушение оставленного силвинита и коржей, обрушение до пласта КрI, вывал пласта КрI, обрушение междупластья КрII-А. Полные обрушения междупластий КрII-АБ и АБ-В на достаточно больших площадях начинаются в среднем спустя 10-15 лет после отработки. Жесткие междукамерные целики, как правило, разрушаются в последнюю очередь. Разрушение начинается с образования трещин, ориентированных параллельно обнажению. Глубина зоны трещинообразования с течением времени возрастает и может достигнуть 1,5-3,0 м. Интенсивные разрушения междукамерных целиков начинаются только спустя 15-25 лет при стечении комплекса неблагоприятных условий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Указания по защите рудников от затопления и охране подрабатываемых объектов в условиях Верхнекамского месторождения калийных солей (технологический регламент): С.-П/б.: ВНИИГ, 2004. – 88 с.

РУДНИЧНАЯ АЭРОГАЗОДИНАМИКА, АЭРОЛОГИЯ И ГОРНАЯ ТЕПЛОФИЗИКА

Б.П. Казаков

ВЛИЯНИЕ ГРАВИТАЦИОННЫХ СИЛ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ТУРБУЛЕНТНЫХ ПОТОКОВ В СЛОЖНЫХ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СЕТЯХ РУДНИКОВ

При проветривании рудников главной вентиляторной установкой (ГВУ) в стационарных условиях движение воздушных потоков предопределено и качественно и количественно. При этом, как показывают многочисленные воздушно-депрессионные съёмки (ВДС), влияние гравитационных сил на общерудничную подачу и депрессию вентилятора незначительно и не превышает 5-10% от соответствующих величин, относящихся ко всей вентиляционной сети. Однако ситуация в корне меняется при анализе этого влияния на различных участках сложных вентиляционных сетей, поскольку депрессия, создаваемая ГВУ и обеспечивающая движение воздуха по выработкам, с удалением от воздухоподающих стволов падает, а гравитационный напор зависит только от разности отметок выработок, наличия источников тепла и соотношения плотностей соответствующих столбов воздуха.

Таким образом, даже при обычном режиме проветривания в руднике возникает комплекс участков и зон, в которых гравитационные силы оказывают существенное влияние на распределение и устойчивость движения потоков в сложных вентиляционных сетях. При этом часто установка на периферии вентиляционной сети любого дополнительного источника тяги так же, как и гравитационный напор, неизбежно приводит к перераспределению потоков и нарушению их устойчивости в выработках зоны влияния. Наличие двух или нескольких горизонтов в руднике ещё более усложняет процессы влияния гравитационных сил и дополнительных источников тяги на устойчивость турбулентных потоков в уклонах и выработках, расположенных на разных горизонтах. Указанное влияние существенно усиливается при снижении депрессии ГВУ или при её отключении, что возможно при сложных аварийных ситуациях. При этом зона влияния каждого из источников зависит в первую очередь от соотношения депрессий развиваемых гравитационным источником, дополнительным источником тяги и депрессией ГВУ, приходящейся на данный участок вентиляционной сети.

Следует отметить, что процессы устойчивости турбулентных потоков практически не изучены. Система уравнений движения непрерывной среды (воздуха) имеет множество решений, из которых реальным для конкретных условий является только одно, и определяется оно по соображениям устойчивости к малым возмущениям. Если возмущение растёт, то выбранное математическое решение на практике не реализуется, и нужно исследовать на устойчивость другое. Исследованию устойчивости течений, в том числе и конвективных [2], посвящено большое количество работ. Однако в указанных работах на устойчивость исследуются ламинарные течения, т.е. течения, которые имеют конкретную рассчитываемую форму. А таких движений воздуха в рудничной вентиляционной сети не бывает. Движение воздуха в руднике всегда турбулентно, а турбулентность, по определению, возникает вследствие гидродинамической неустойчивости ламинарного те-

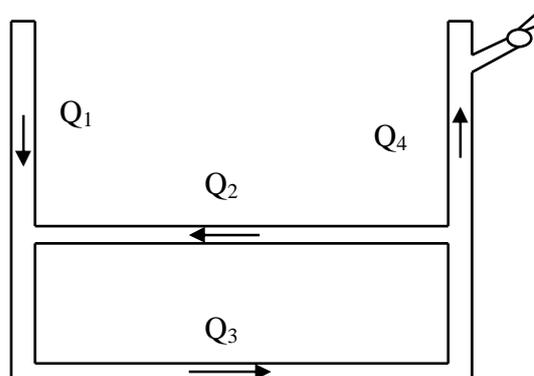
чения, которое теряет устойчивость и превращается в турбулентное. Для рудников показателем устойчивости турбулентных потоков следует считать критерий, который характеризует необходимый расход и требуемое направление воздушного потока.

Пусть записана система уравнений турбулентной конвекции с соответствующим усреднением турбулентных пульсаций и наличием замыкающих соотношением. В принципе, можно найти какое-нибудь решение системы (движение) и исследовать его на устойчивость к малым возмущениям. Но процедура эта будет физически бессмысленной, поскольку возмущать осреднённое течение не корректно, т.к. все турбулентные возмущения в нём уже усреднены. Но, тем не менее, есть один тип возмущений, который вряд ли может быть отнесён к турбулентной структуре потока, - это длинноволновые возмущения. Природа неустойчивости течения к ним - не турбулизация, а перестройка режима движения воздуха, в случае движения воздуха по стволу или выработке означает возникновение возвратного, циркуляционного потока воздуха. Таким образом, предполагается следующее: если сквозное движение потока оказывается неустойчивым к длинноволновым возмущениям, то возникнет локальная конвекция и при постепенном понижении общешахтной депрессии гидродинамическая устойчивость обычного сквозного движения воздуха к длинноволновым возмущениям сменяется неустойчивостью турбулентного потока. Указанная неустойчивость может возникать в стволах и других выработках сложных вентиляционных сетей рудников как за счёт гравитационных сил, так и при установке любого дополнительного источника тяги в сети. Такими источниками тяги могут быть:

- источники тепла (искусственные или тепло горного массива);
- вентиляторы местного проветривания;
- движущийся транспорт.

Влияние гравитационных сил на переход устойчивого режима движения в неустойчивый наиболее ярко прослеживается в воздухоподающих и вентиляционных стволах при исследовании режимов вентиляции выработок рудников за счёт естественной тяги при отключении ГВУ. Исследования таких режимов необходимы для поиска оптимальных путей вывода людей при разработке плана ликвидации аварий (ПЛА) на рудниках. Сотрудники лаборатории приняли участие в масштабном эксперименте по исследованию распределения потоков воздуха в стволах и выработках рудника 3 РУ РУП «ПО «Беларуськалий» в декабре 2004 года. Исследования проводились на двух отрабатываемых горизонтах на отметках 620 и 420 метров при различных параметрах сетей на каждом из горизонтов. Теоретически стационарного ненулевого режима естественной тяги быть не должно, если устья стволов находятся на одном геодезическом уровне [1]. Однако в результате исследований установлен ряд режимов движения воздушных потоков за счёт гравитационных сил, которые требуют комплекса дополнительных экспериментальных исследований и теоретических обоснований.

На рисунке представлена принципиальная схема проветривания горизонтов указанного рудника. Во время работы ГВУ создаёт депрессию до 500 мм.вод.ст., и это примерно в 50-100 раз больше, чем депрессия естественной тяги. При этом общий расход воздуха Q_1 через рудник со-



ставляет $20049 \text{ м}^3/\text{мин}$, а распределение расходов воздуха по рабочим горизонтам – $Q_2=8036 \text{ м}^3/\text{мин}$ и $Q_3=12013 \text{ м}^3/\text{мин}$. После отключения вентилятора объёмы, создаваемые за счёт разряжения, сразу же начинают заполняться воздухом, что сопровождается опрокидыванием исходящей струи. Согласно экспериментальным данным, опрокидывание струи в вентиляционном стволе происходило в течение 15-20 минут, после чего направление движения воздуха в стволах восстановилось со следующими расходами: $Q_1=2566 \text{ м}^3/\text{мин}$; $Q_2=342 \text{ м}^3/\text{мин}$; $Q_3=3108 \text{ м}^3/\text{мин}$; $Q_4=2566 \text{ м}^3/\text{мин}$. При этом следует подчеркнуть, что на втором горизонте произошло изменение направления движения воздушного потока.

В ходе воздушно-депресссионных съёмок, проводившихся на руднике РУ-3 в то время, когда вентилятор главного проветривания был отключен, было выявлено следующее. Естественная тяга в целом по руднику после отключения ГВУ существенно снижается, но она возникает между горизонтами, - нижним, более тёплым, и вышележащим с более низкой температурой, в котором воздушный поток «опрокидывается». Исходя из результатов экспериментальных исследований естественной тяги на руднике РУ-3 при выключенном ВГП можно сделать вывод, что режим движения воздуха в стволе более сложный, чем при обычном режиме проветривания. На «сквозное» конвективное движение воздуха через рудник (воздухоподающие стволы – горизонты – вентиляционный ствол) накладывается «внутристволовое» конвективное движение, при котором холодный воздух вдоль стенок или стенки стволов опускаются вниз, а тёплый по центру поднимается вверх. Причём, судя по равенству температур воздуха в верхних частях подающих и вентиляционного стволов, глубина «конвективных вихрей» весьма существенна (порядка 400 метров), что и приводит к появлению гравитационных сил между горизонтами и образованию обратных потоков воздуха через верхний горизонт.

Численный эксперимент показывает, что опрокидывание расхода воздуха на верхнем горизонте может происходить только в случае, когда средняя температура воздуха в вентиляционном стволе практически не отличается от средних температур воздуха в подающих стволах. «Двигателем естественной тяги» в этом случае являются гравитационные силы на участках стволов между горизонтами, температуры воздуха на которых должны отличаться значительно больше. Пример: $+6^\circ\text{C}$ и $+6.2^\circ\text{C}$ в стволах выше горизонта -440м и $+11.5^\circ\text{C}$ и $+17.5^\circ\text{C}$ в стволах между горизонтами, – по нижнему горизонту воздух идёт в обычном направлении, а по верхнему – в обратном.

Если упрощённо представить теперь рудник как два ствола, соединённые выработками конечного сопротивления, то становится понятным, что сценарий реализации естественной тяги даже в таком упрощённом случае не очевиден. Действительно, при большом сопротивлении рудника (два отдельных ствола) конвекция происходит внутри стволов, а при малом возможно сквозное проветривание. Получается, что при расчёте естественной тяги в руднике с отключенным ВГП сценарий движения воздуха не очевиден: это может быть сквозное проветривание (от ствола к стволу), локальная конвекция (внутри ствола) или комбинированная схема течения потоков. Тепловая энергия земли приводит в движение воздух, который может идти как через весь рудник, так и вниз по стволу и обратно вверх. И то, и другое движения происходят за счёт гравитационных сил и могут, в зависимости от условий, реализоваться полностью, частично или не реализоваться вообще.

В верхних частях стволов имела место локальная конвекция, а в нижних – сквозное проветривание. В результате плотности воздуха в верхних частях стволов оказались практически одинаковы, а источник естественной тяги оказался между двумя нижними горизонтами, что и явилось причиной нарушения устойчивости потоков при проветривании горизонтов рудника.

Вентилятор, установленный в выработке без перемычки, воздействует на распределение потоков в вентиляционной сети аналогично гравитационному источнику и

является источником тяги эжекторного типа, напор которого возникает в результате перехода кинетической энергии струи воздуха в потенциальную энергию в виде возникающего перепада давлений. Эжекторный напор не является фиксированной величиной, а характеризуется напорной характеристикой. Однако зависимость напора от расхода сама по себе не нарушает однозначности решения задачи вентиляции. Особенность заключается в том, что направление движения воздуха в данном случае, вообще говоря, не очевидно. Считается, что воздух будет двигаться в направлении проветривания, но не исключена возможность возникновения циркуляции вокруг вентилятора или камеры смешения эжектора, поскольку перемычка отсутствует. Возникновение такого режима движения, естественно, уменьшает эжекторный напор, сводя полезное сквозное проветривание к нулю. Таким образом, устойчивость обоих режимов движения воздуха зависит от топологии участка вентиляционной сети, на которую распространяется действие источника тяги.

При проветривании вентиляторами-эжекторами рудников с выработками большого сечения неизбежно возникновение рециркуляционных потоков воздуха, поскольку в этом случае на гидродинамические силы вентилятора накладываются дополнительные гравитационные, что требует дополнительных исследований на устойчивость таких турбулентных потоков.

Проветривание тупиковых забоев беструбным способом является эффективным и одновременно экономичным способом вентиляции комбайновых выработок. Экономичность этого способа сомнений не вызывает, поскольку пропадает необходимость в проведении трудоёмкой работы по прокладке и обслуживанию вентиляционного трубопровода. Вместо этого на комбайне или в устье тупиковой выработки устанавливается компактный мощный вентилятор, посылающий струю воздуха к устью забоя. Что касается эффективности такого проветривания, то однозначного ответа здесь нет. Действительно, дальнобойность струи воздуха не бесконечна и поэтому необходимо определить критерии гидродинамической устойчивости потоков, которые обеспечат надёжность того или иного течения потока.

Вариантов движения воздуха в этом случае много, и все они могут быть физически корректны, т.е. не противоречить физическим законам. При определённых условиях возможно одномерное движение воздуха по всей длине выработки с постоянным расходом в половине сечения, возможно течение с постепенным перетеканием воздуха из прямого потока в обратный, возможно образование двух или большего числа вихрей в зависимости от интенсивности гравитационных сил и процессов теплообмена между воздухом и массивом. Каждое из этих течений может реализоваться или нет в зависимости от конкретных условий и будет характеризоваться критериями устойчивости потоков.

Приведённые примеры являются примерами задач вентиляции с неустойчивыми режимами движения турбулентных потоков и неоднозначными решениями. Для выбора реального решения вентиляционных задач по распределению воздуха по выработкам рудничной вентиляционной сети предполагаемые режимы движения воздуха в удалённых от стволов участках должны быть исследованы на устойчивость турбулентных потоков по характеру течения и по направлению во всех выработках, оказавшихся в зоне влияния гравитационных сил, а также того или иного дополнительного источника тяги.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Комаров В.Б., Килькеев Ш.Х. Рудничная вентиляция. – М, 1959. – С. 400.
2. Гершуни Г.З., Жуховицкий Е.М., Непомнящий А.А. Устойчивость конвективных течений. – М: Наука, 1989. – С. 320.

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РЕЦИРКУЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ ПРИ ПРОВЕТРИВАНИИ КАЛИЙНЫХ РУДНИКОВ

Классический способ проветривания подземных горных выработок – подача свежего воздуха с поверхности и распределение его между независимыми потребителями. Высокая надежность этого способа сделали его основным на всех горнодобывающих предприятиях России. Развитие технологии горных работ повлекло за собой увеличение интенсивности обработки запасов полезных ископаемых, расширение фронта горных работ и, как следствие, возрастание сложности вентиляционных сетей и количества используемого воздуха. Эти факторы заставляют искать резервы повышения эффективности использования свежего воздуха. Наряду с традиционными методами уменьшения утечек и перераспределения воздуха между потребителями все большее внимание уделяется рециркуляционному проветриванию. При этом способе часть воздуха, участвующего в проветривании, используется повторно. В книге И.И. Медведева и А.Е. Красноштейна «Аэрология калийных рудников» приводятся результаты многолетних исследований, проводимых на калийных рудниках, которые убедительно доказывают возможность использования рециркуляционного способа проветривания.

В 2003 г. утверждена новая редакция «Единых правил безопасности при разработке рудных, нерудных и россыпных месторождений полезных ископаемых подземным способом», в которой для повышения эффективности проветривания допускается частичное повторное использование воздуха (пункт 160).

Однако на сегодняшний день существует ряд вопросов по применению рециркуляционных систем с наибольшей эффективностью.

Одним из вопросов применения рециркуляционного метода проветривания является возможность использования в качестве источника тяги вентиляционных эжекторных установок.

Главная вентиляционная установка (ГВУ) создаёт и поддерживает расход воздуха $Q_1^{(0)}$ через рудник за счёт депрессии ΔP . Суммарное аэродинамическое сопротивление стволов и участков транспортного и вентиляционного штреков до того места, где предполагается прохождение сбойки между ними для размещения эжекторной установки, обозначено R_1 . Сопротивление сети от этого места до труднопроветриваемого участка (включая сопротивление самого участка) ради увеличения подачи воздуха, к которому и предполагается организация рециркуляции, обозначено R_4 . Предположительный недостаток расхода воздуха на этом участке - $Q_4^{(0)}$.

Для упрощения модели все утечки на пути следования воздуха от транспортного штрека к вентиляционному условно перенесены к месту предполагаемого прохождения вентиляционной сбойки и обозначены расходом $Q_3^{(0)}$. Суммарное сопротивление путей утечек - R_3 . Уравнения 1-го и 2-го законов сетей для данной схемы имеют вид:

$$\begin{cases} Q_1^{(0)} = Q_3^{(0)} + Q_4^{(0)} \\ \Delta P = R_1 Q_1^{(0)} |Q_1^{(0)}| + R_4 Q_4^{(0)} |Q_4^{(0)}|, \\ R_3 Q_3^{(0)} |Q_3^{(0)}| = R_4 Q_4^{(0)} |Q_4^{(0)}| \end{cases} \quad (1)$$

откуда расход воздуха через труднопроветриваемый участок

$$Q_4^{(0)} = \sqrt{\frac{\Delta P}{R_4 \left(1 + \frac{R_1}{R_{34}}\right)}}, \quad (2)$$

где R_{34} – суммарное сопротивление двух параллельных участков с сопротивлениями R_3 и R_4 $\left(\frac{1}{\sqrt{R_{34}}} = \frac{1}{\sqrt{R_3}} + \frac{1}{\sqrt{R_4}}\right)$.

Используемые единицы измерения физических величин – депрессия и эжекционный напор - мм.вод.ст, расходы воздуха - м³/с; аэродинамические сопротивления - кмюрг.

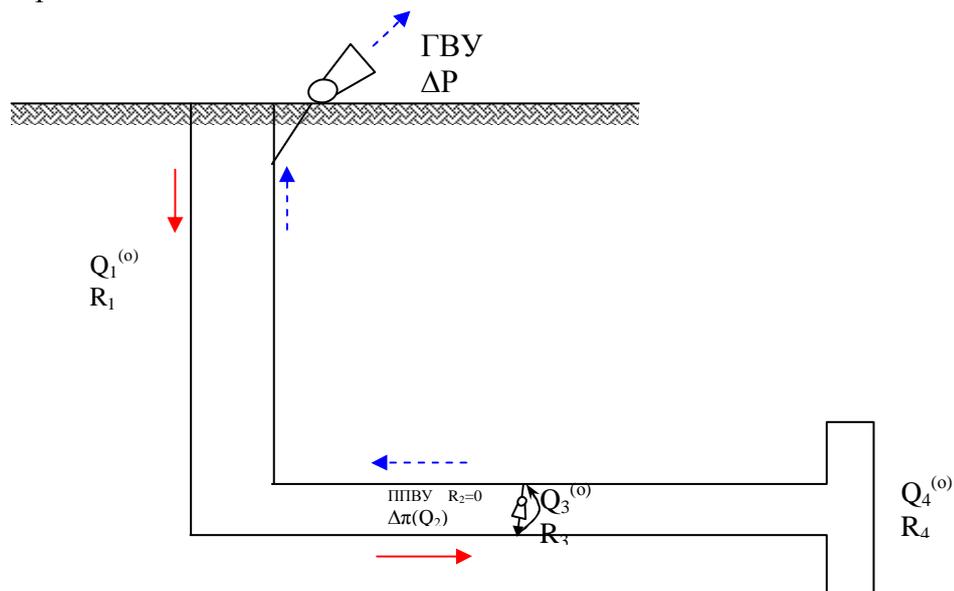


Рис. 2. Схема проветривания рудника с эжекторной установкой

После прохождения вентиляционной сбойки (сопротивление её R_2 для простоты считается равным нулю), размещения в ней и включения эжекторной установки (рис. 2) появляется эжекционный напор $\Delta\pi$, величина которого зависит от расхода Q_2 , который целиком падает на сопротивление R_4 .

Поэтому

$$Q_4 = \sqrt{\frac{\Delta\pi}{R_4}}, \quad (3)$$

откуда изменение расхода воздуха на участке 4 с учётом (2):

$$\Delta Q_4 \equiv Q_4 - Q_4^{(0)} = \sqrt{\frac{\Delta\pi}{R_4}} - \sqrt{\frac{\Delta P}{R_4 \left(1 + \frac{R_1}{R_{34}}\right)}}. \quad (4)$$

Относительное изменение расхода воздуха на участке 4 после включения эжекторной установки будет:

$$\varepsilon \equiv \frac{\Delta Q_4}{Q_4^{(0)}} = \sqrt{\frac{\Delta\pi}{\Delta P}} \cdot \sqrt{1 + \frac{R_1}{R_{34}}} - 1. \quad (5)$$

Анализируя (5), можно сделать некоторые оценки эффективности работы эжекторной установки в данной ситуации. Не исключён, например, вариант, при котором $\varepsilon < 0$, что соответствует «передавливанию» эжекционного напора общешахтной депрессией. В этом случае эффект от применения эжекторной установки отрицателен, поскольку $\Delta Q_4 < 0$ означает, что $Q_2 < 0$ и является дополнительной утечкой в виде встречного эжекционной струе потока воздуха. Для реальных ГВУ и ППВУ $\sqrt{\frac{\Delta\pi}{\Delta P}} \leq \frac{1}{5}$, и $\varepsilon > 0$ при $\sqrt{1 + \frac{R_1}{R_{34}}} > 5$, т.е. $\frac{R_1}{R_{34}} > 24$. А поскольку для рассмотрения интересны только те ситуации, для которых $\varepsilon > 0$, а $1 \ll 24$, то единицей можно пренебречь. В результате получается необходимое условие положительной работы ($Q_2 > 0$) эжекторной установки

$$\Delta\pi > \frac{R_{34}}{R_1} \Delta P. \quad (6)$$

Однако выполнение (6) ещё не означает, что эжекторная установка будет работать эффективно по отношению к увеличению подачи воздуха на труднопроветриваемый участок 4. При соблюдении условия (6) эффективность эта может быть рассчитана по формулам (4) или (5), причём обязательно нужно учитывать, что эжекционный напор $\Delta\pi = \Delta\pi(Q_2)$ является убывающей функцией Q_2 . В противном случае, если задаться конкретным фиксированным значением $\Delta\pi$, то получится абсурдный вывод: чем больше утечки (меньше R_3), тем лучше – тем больше Q_4 . Очевидно, что увеличением утечек можно добиться положительной работы эжекторной установки, если она была отрицательной, поскольку при этом ослабляется действие общешахтной депрессии на сбойку, в которой располагается установка. Но увеличение утечек ни в коем случае не может увеличить подачу воздуха на участок 4, поскольку при этом увеличивается Q_2 , соответственно, уменьшается $\Delta\pi$ и, согласно (3), уменьшается Q_4 . Расход воздуха Q_4 будет тем больше, чем ближе к участку 4 располагается эжекторная установка и чем меньше утечек воздуха между ней и этим участком.

Для выяснения эффекта, который можно получить при использовании рециркуляционных систем, проведен математический расчет реальной вентиляционной сети рудника БКПРУ-2. В расчетной сети смоделировано применение рециркуляционных систем (на базе вентиляторов ВМ-12) на южном и северном крыльях рудника. Схематично сеть представлена на рисунке 3.

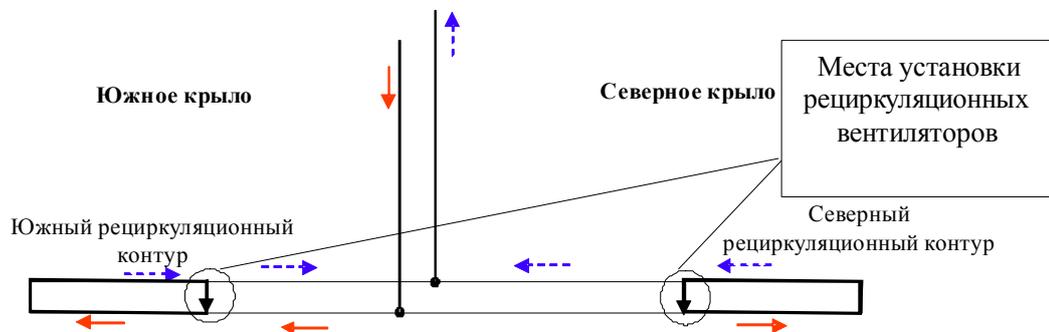


Рис. 3. Принципиальная схема проветривания рудника с использованием рециркуляционных систем

Для оценки возможностей системы проветривания с использованием рециркуляционных систем рассчитано несколько вариантов.

1. Обычный режим проветривания рудника.
2. Режим проветривания с рециркуляцией по северному и южному крыльям за счет вентиляторов ВМ-12.
3. Режим проветривания с рециркуляцией и сниженным на 10% напором ГВУ.
4. Режим проветривания с рециркуляцией и сниженным на 25% напором ГВУ.
5. Режим проветривания с рециркуляцией и сниженным на 70% напором ГВУ.

В таблице 1 приведены результаты расчетов.

Таблица 1

Режим проветривания	Кол-во воздуха, поступающего в рудник., м ³ /мин	Кол-во воздуха, поступающего южный рецирк. контур, м ³ /мин	Кол-во воздуха, поступающего северный рецирк. контур, м ³ /мин
Обычный режим проветривания рудника	20133	6749	8875
Режим проветривания с рециркуляцией по северному и южному крыльям за счет вентиляторов ВМ-12	19618	9344	10675
Режим проветривания с рециркуляцией и сниженным на 10% напором ГВУ	18639	8970	10442
Режим проветривания с рециркуляцией и сниженным на 25% напором ГВУ.	17069	8358	10075
Режим проветривания с рециркуляцией и сниженным на 70% напором ГВУ	10843	5738	8762

По таблице 1 видно, что с использованием рециркуляционных систем количество воздуха в рециркуляционных контурах северного и южного крыла превышает аналогичные значения при нормальном режиме проветривания даже при условии уменьшения подачи воздуха в рудник в целом. В случае снижения напора ГВУ на 70% общее количество воздуха, поступающего в рудник, уменьшилось на 9290 м³/мин (53,8%). Количество воздуха, поступающего в рабочие зоны южного и северного рециркуляционных контуров уменьшилось по сравнению с обычным режимом проветривания, однако даже в этом случае превышает расчетные значения. Количество воздуха, поступающего на проветривание рабочих зон северного крыла - 8762 м³/мин (расчетное 7011 м³/мин); южного - 5738 м³/мин (расчетное 3291 м³/мин). Из них повторно используется: в южном крыле - 2808 м³/мин (48,9 %); в северном крыле - 3205 м³/мин (36,5 %).

Выполненные расчеты показывают перспективность использования рециркуляционных систем не только для проветривания удаленных участков испытывающих дефицит воздуха, но и возможность применения их для энергосберегающих целей.

**УПРАВЛЕНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ
В ТРАНСПОРТНЫХ ВЫРАБОТКАХ РАБОЧИХ ГОРИЗОНТОВ
4 РУ РУП « ПО «БЕЛАРУСЬКАЛИЙ »**

Проблемы нормализации микроклиматических параметров рудничной атмосферы зачастую недооцениваются на производстве, где все внимание сосредоточено на непосредственной добыче полезных ископаемых. Однако пренебрежение влажностными показателями воздуха допустимо только для угольных и других шахт и рудников, где породы являются устойчивыми по отношению к воде. Совершенно иная ситуация в калийных рудниках, разрабатывающих гигроскопичные соляные породы.

Поступающий летом в рудник теплый и влажный воздух, охлаждаясь в выработках, увлажняет стенки, кровлю и почву. Соляные рассолы, образующиеся на поверхности выработок и оборудования при избытке атмосферной влаги, оказывают агрессивное воздействие на оборудование, нарушают взрывобезопасность и изоляцию электрооборудования, а также коммутационные и кабельные электрические сети. Поэтому в условиях повышенной гигроскопичности калийных пород необходимо исключить или свести к минимуму выпадение капельной влаги из воздушного потока.

Выпадение влаги из потока вызвано тем, что воздух, подаваемый в рудник в теплый период года, не подвергается обработке. Очевидно, что необходимо проведение мероприятий по осушению воздуха, подаваемого в рудник. Добиться осушения воздуха можно следующими методами:

1. Обработкой воздуха в тепломассообменных аппаратах.
2. Смешиванием потоков воздуха, обладающих различными тепловлажностными характеристиками (использование исходящих струй рудничного воздуха).
3. Использованием специальных выработок для тепломассообменной обработки воздуха.

В настоящее время одним из наиболее перспективных способов управления климатическими параметрами в транспортных выработках является обработка рудничного воздуха путем смешивания потоков сухого и влажного воздуха. Осуществить это можно следующим образом. В летний период в рудник подается теплый воздух. Контактная с более холодными поверхностями главных воздухоподающих (транспортных) выработок, воздух охлаждается, и избытки влаги выпадают в виде конденсата. Таким образом, по вентиляционным выработкам идет уже охлажденный, сухой воздух. Поэтому при подаче части исходящего воздуха из вентиляционных в транспортные выработки, требующие осушения, будет происходить смешивание потоков сухого и влажного воздуха. Тем самым можно уменьшить, либо полностью исключить выпадение конденсата в транспортных выработках.

До недавнего времени существовало мнение, что проветривание рудника или отдельных его участков с использованием исходящих струй приводит к накоплению горючих и ядовитых газов. В действительности же это не так.

Результаты замеров, проведенных на руднике 4РУ ПО «Беларуськалий», показывают, что содержание вредных и горючих газов в исходящих струях гораздо ниже установленных ПДК, а значит, по своим санитарно-гигиеническим показателям смесь воздуха с поверхности и воздуха исходящих струй удовлетворяет требованиям ЕПБ.

В настоящее время, когда очень остро встаёт вопрос разработки новых энергосберегающих технологий, большой интерес могут представлять системы вентиляции горных выработок с использованием исходящего воздуха. Повторное использование отработанного воздуха приводит к значительному снижению расходов на вентиляцию, уменьшает влияние метеорологических условий на поверхности на микроклимат подземных добычных участков, способствует улучшению действенности проветривания. Эффект системы рециркуляции в зимний период заключается в снижении затрат тепловой энергии на обогрев шахтных стволов. Эффект от внедрения системы осушения подаваемого в рудник воздуха в летний период года заключается в снижении ущерба калийных производств, связанного с состоянием микроклимата. Осушение воздуха, подаваемого в рудник путём рециркуляции, является наименее затратным способом нормализации микроклиматических параметров рудничной атмосферы. Существует два основных способа рециркуляции рудников:

1. Схема проветривания с общерудничной рециркуляцией. Суть этого способа заключается в том, что воздух из вентиляционных выработок околоствольного двора с помощью дополнительного источника тяги подаётся в выработки со свежей струёй. Как отмечалось выше, поверхности выработок калийных рудников за счёт своей гигроскопичности и практически постоянной температуры способны осушать и охлаждать воздух в летний период. Тем самым исходящий из выработок рудника воздух проходит тепловлажностную обработку естественным путём. При его смешении со свежей струёй, нормализуются микроклиматические параметры входящего в рудник свежего воздуха. Недостатком данной схемы рециркуляции является то, что при большой депрессии в околоствольных дворах её внедрение является достаточно проблематичным.

2. Схема проветривания с рециркуляцией на основных направлениях (панелях). Данный способ рециркуляции также осуществляется с помощью дополнительного источника тяги и несёт меньшие материальные и энергетические затраты. Устройство таких рециркуляционных систем разрабатывается для каждого направления отдельно с учетом аэродинамических характеристик всех участков, выработок и панелей, находящихся на нем, и после детального расчета вентиляционной сети всего рудника. В данном случае проходится канал для рециркуляционного потока воздуха, в котором и размещается вспомогательный источник тяги.

На руднике РУ-4 основными местами переувлажнения горных выработок, создающих проблемы передвижения транспорта, являются главные направления второго горизонта (-440 метров) и направления Ю1 и Ю2 третьего горизонта (-670 метров). Это основные транспортные и конвейерные штреки, по которым обеспечивается перевозка людей и грузов, а также выдача руды с панелей Западного А и Восточного А направлений.

Горные работы в пределах Третьего калийного горизонта на шахтном поле РУ-4 в 2004 году предусматривалось проводить в его южной части, а именно, на 1, 5 и 8 южных панелях и на 2, 3, 5, 6, 7, 8, южных “А” панелях.

Рециркуляция организована в начале Западного А направления перед 1 ЮА панелью и в начале Восточного А направления перед 2ЮА панелью, в существующей сбойке или специально подготовленной выработке (рециркуляционная сбойка).

Характеристики вентилятора определяются по результатам воздушно-депрессионной съемки и последующего математического моделирования вентиляционной сети рудника. Оптимальной установкой, отвечающей всем требованиям

ям рециркуляции и обеспечивающей требуемый воздухообмен на всей зоне влияния вентилятора–эжектора, является установка, состоящая из вентилятора ВМ(Э)-12А с углом поворота лопаток 25° ; камеры смешения площадью $1,7 \text{ м}^2$; конфузора с площадью на выходе $0,65 \text{ м}^2$ и длиной 1 м . Вторичная эжекция отсутствует, т.к. установлена “глухая” перемычка.

В результате проведенных расчетов можно сказать, что применение вентиляторов–эжекторов позволит создать рециркуляционное проветривание на Западном А и Восточном А направлениях, и при этом улучшается проветривание всех обрабатываемых на горизонте панелей.

При включении в вентиляционную сеть рудника дополнительных источников тяги (вентиляторов–эжекторов) на большинстве участков происходит перераспределение расходов воздуха. Так происходит снижение подачи воздуха на Ю1 и Ю2 направлениях, которое приведет к снижению поступающей влаги на уклоны направлений.

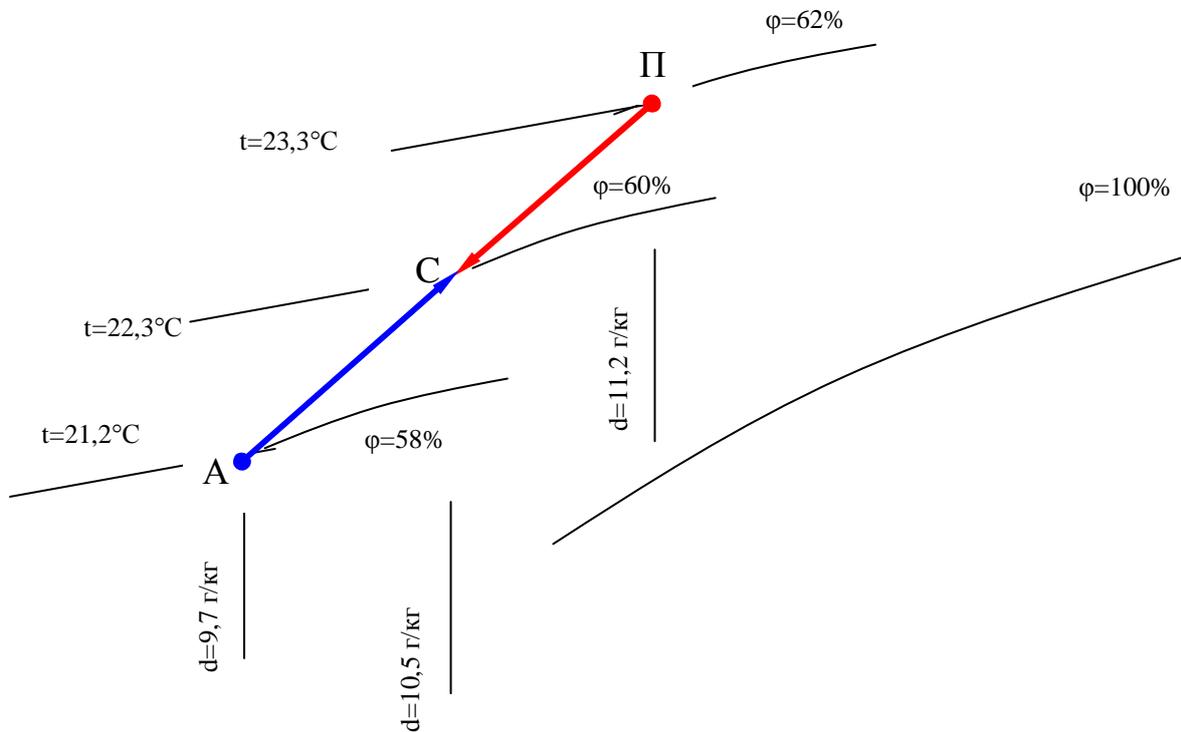


Рис. 1. Процессы смешивания поступающего и удаляемого воздуха в пределах горизонта

на рис. 1 показаны процесс смешивания поступающего и исходящего потоков воздуха для горизонта -670 м крыло «Восток-А». Параметры свежей струи: $t=23,3^\circ\text{C}$; $\varphi=62\%$; $d=11,2 \text{ г/кг}$. Параметры исходящей струи: $t=21,2^\circ\text{C}$; $\varphi=58\%$; $d=9,7 \text{ г/кг}$. Линия «У-С-П» отражает процесс смешивания. Из I-d диаграммы видно, что в результате получаем поток воздуха с параметрами $t=22,3^\circ\text{C}$; $\varphi=60\%$; $d=10,5 \text{ г/кг}$.

Внедрение системы осушения рудничного воздуха путем его обработки как в калориферных установках, так и в подземных выработках приведет к улучшению условий труда и значительному снижению ущерба, связанного с состоянием микроклимата в выработках рудников.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТРИЦАТЕЛЬНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ В ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ СИСТЕМЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОВЕТРИВАНИЕМ РУДНИКА

Организация проветривания вентиляционных сетей большой размерности, которыми являются современные рудники, представляет собой достаточно сложную задачу ввиду многофакторности и изменчивости механизмов, определяющих движение воздуха по подземным выработкам. Каждый элемент вентиляционной сети в той или иной степени оказывает влияние на распределение расходов воздуха по всему руднику. С другой стороны, величину расхода воздуха в конкретной выработке определяют все элементы сети, также с разной степенью влияния. Ситуация осложняется ещё тем, что вентиляционная сеть постоянно претерпевает изменения, в результате которых проветривание некоторых участков может становиться недостаточным. Изменения, вызванные разработкой новых добычных участков, проходкой дополнительных выработок, происходят планово и не часто, и им, как правило, предшествуют определённые мероприятия по реорганизации проветривания для новых условий. Иначе обстоит дело с частыми, незапланированными и кратковременными (часы или дни) изменениями, которые могут быть опасны в смысле нежелательного перераспределения воздушных потоков. К таким изменениям можно отнести открытие-закрытие ворот, возведение или снос перемычек, отключение-включение вентиляторов. К этим же изменениям следует отнести увеличение концентрации вредных веществ в исходящей струе, вызванное выделением газа из горного массива или пожаром, что также требует определённого аварийного перераспределения расходов воздуха.

По мнению ряда исследователей [1], наиболее эффективной для решения задач рудничной вентиляции является централизованная система автоматического управления проветриванием (САУП), предназначенная для своевременного и быстрого реагирования на недопустимые изменения расходов воздуха и концентраций вредных веществ в нём и устранения возникающих проблем имеющимися в распоряжении системы средствами регулирования воздухораспределения. Главным звеном централизованной САУП является управляющая вычислительная машина (УВМ) [2], функции которой заключаются в приёме информации о параметрах сети и составе рудничной атмосферы, решении сетевой нелинейной задачи оптимального регулирования и определении управляющих воздействий и выдачи их на исполнительные органы с целью обеспечения требуемого перераспределения расходов воздуха в сети. Под «оптимальным регулированием» подразумевается не просто обеспечение всех участков рудника необходимым количеством воздуха, а обеспечение воздухом при минимальных затратах энергии, под которыми, как правило, принято понимать минимальную нагрузку на ГВУ.

Основными параметрами, характеризующими вентиляционную сеть, являются: аэродинамические сопротивления ветвей сети R_i ; расходы воздуха в ветвях Q_j и напоры источников тяги ΔP_k , где i, j и k – номера ветвей от 1 до n (общее число ветвей сети). В зависимости от того, какие из параметров являются заданными, а какие – искомыми, задачи вентиляции делятся на два типа [3]: анализа и синтеза. Задачи анализа заключаются в определении расходов воздуха Q_j по известным R_i и ΔP_k и являются предварительным этапом в решении задач синтеза. Отличительная особенность задачи анализа – решение у неё всегда есть, причём единственное. Наиболее удобный и распространённый способ решения этих задач – ме-

тод последовательных приближений, разработанный М.М. Андрияшевым [4]. Задачи синтеза заключаются в определении необходимых параметров (задачи управления) и местоположения (задачи проектирования) положительных и отрицательных регуляторов, имеющих в сети, для достижения требуемого воздухо-распределения. Расходы воздуха в ветвях задаются диапазонами допустимых значений, которые могут иметь как двухсторонние ($a_j < Q_j < b_j$), так и односторонние ($a_j < Q_j < +\infty$ или $-\infty < Q_j < b_j$) ограничения, или могут вообще не иметь ограничений ($-\infty < Q_j < +\infty$). В задачах управления (местоположения всех ветвей и источников тяги определены и фиксированы) все ветви и источники тяги в сети подразделяются на два типа: заданные и регулируемые. Первый тип характеризуется известными фиксированными значениями сопротивлений и напоров (напорных характеристик), второй тип задаётся возможными диапазонами регулирования. В отличие от задач анализа задачи управления (и синтеза в целом) не имеют однозначных решений, т.е. решений может быть бесконечно много или может не быть вообще. Наличие решения означает, что в некотором диапазоне регулируемых параметров достигаются допустимые значения расходов воздуха в ветвях. Причём задача управления заключается не только в нахождении какого-нибудь любого решения и не всего возможного диапазона решений, а заключается в выборе одного из всех возможных решений по определённому критерию. Критерии могут быть разные, но, как правило, решение выбирается по принципу наименьших затрат энергии. Например, если одним из регуляторов является ГВУ (наиболее энергопотребляемый элемент рудничной вентиляционной сети), то из всех решений, обеспечивающих требуемое воздухо-распределение в сети, должно быть выбрано то, которое будет соответствовать наименьшему потреблению электроэнергии ГВУ. Исключением являются аварийные ситуации, в которых критерием регулирования служит обеспечение максимально безопасного для вывода людей воздухо-распределения, а не экономия энергии. Таким образом, УВМ централизованной САУП должна «уметь» работать в двух режимах – обычном и аварийном. Функции УВМ во втором случае – идентификация типа аварии в базе данных возможных аварийных ситуаций в руднике и принятие соответствующих мер по ликвидации аварии, которые должны быть заранее определены, рассчитаны и занесены в базу данных. В отличие от аварийного режима работы УВМ, в котором её действия чётко определены, в обычном (энергосберегающем) режиме машина должна «уметь думать о том», что сделать, чтобы при минимальных затратах энергии обеспечить необходимое распределение расходов воздуха по выработкам.

На рис.1 изображена блок-схема управляющей (в обычном режиме) программы УВМ централизованной САУП, реализованной на произвольном количестве отрицательных и одном положительном (ГВУ) регуляторах. Критерием регулирования является минимизация нагрузки на ГВУ, а ограничителями – минимальные и максимальные значения расходов воздуха. Представленный алгоритм управления с помощью отрицательных регуляторов основывается на многократном перерасчёте воздухо-распределения в руднике методом последовательных приближений при целенаправленном изменении значений сопротивлений отрицательных регуляторов с одновременным понижением депрессии ГВУ.

Алгоритм реализован численно, протестирован и опробован на упрощённой схеме калийного рудника БКПРУ-2 и имеет удовлетворительную сходимость. Расчёты показали, что при удачной расстановке отрицательных регуляторов численное манипулирование их сопротивлениями позволяет снизить депрессию ГВУ более чем в 2 раза, при сохранении удовлетворительного воздухо-распределения.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУХОРАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ДЛЯ АСУ ПРОВЕТРИВАНИЕМ РУДНИКА

Для распределения воздушных потоков по вентиляционной сети рудников и шахт применяются два вида управления: отрицательное и положительное регулирование. Под положительным регулированием понимается изменение воздухо-распределения с помощью вентиляторных установок главного проветривания и вспомогательных вентиляторных установок. Отрицательное регулирование представляет собой изменение аэродинамического сопротивления той или иной выработки.

Под оптимальным управлением воздухораспределением в руднике в данной статье подразумевается такое управление, при котором мощность, потребляемая главной вентиляторной установкой, снижается до минимального значения с одновременным соблюдением расчетных значений количеств воздуха, поступающих на определенные участки шахтного поля. В автоматизированной системе управления проветриванием рудника управляющие решения принимаются центральным компьютером. Управляющие решения передаются по каналам связи на объекты управления. В данной статье рассматриваются два класса объектов управления: главная вентиляторная установка (положительный регулятор) и автоматические устройства, позволяющие изменять аэродинамическое сопротивление горной выработки (отрицательные регуляторы).

Отрицательные регуляторы могут представлять собой устройства, оснащенные электроприводами, позволяющие изменять площадь сечения горной выработки, создавая лобовое сопротивление движению воздушного потока. Конкретный вид данных устройств в данной статье не рассматривается.

Положительное регулирование может осуществляться одним из трех способов в зависимости от конкретного типа вентиляторной установки главного проветривания, установленной на поверхности рудника (шахты).

Первый вид положительного регулирования — дросселирование, т. е. изменение площади сечения направляющего аппарата ГВУ. Данный вид регулирования наиболее универсален, и его применение возможно практически на любых вентиляторных установках. Для его использования необходимо оснащение направляющего аппарата воздушной заслонкой (шибером) с автоматизированным электроприводом. Недостатком данного метода является исключительно низкий КПД работы вентиляторной установки в таком режиме, что влечет за собой неоправданные потери электроэнергии.

Второй вид положительного регулирования — это изменение параметров лопаток рабочего колеса вентилятора. Как правило, это угол атаки лопаток. Недостатком данного метода является его низкая надежность. Как правило, изменение угла атаки лопаток невозможно произвести в «горячем» режиме, без остановки вентилятора.

Третий метод положительного регулирования — изменение частоты вращения рабочего колеса. Данный метод является наиболее эффективным и перспективным. В настоящий момент он получил широкое распространение во всем мире. При изменении частоты вращения рабочего колеса вентилятора изменяется его напорная характеристика, и, соответственно, меняется режим работы вентиляционной сети. При этом смещается рабочая точка, находящаяся на пересечении на-

порной характеристики вентиляторной установки и характеристики вентиляционной сети. При этом, как видно по рис. 1, рабочая точка может очутиться в различных областях поля КПД.

Перейдем к формальному описанию задачи оптимального управления воз­духораспределением. В данной статье постановка задачи ввиду громоздкости формул будет осуществлена на упрощенной вентиляционной сети, приведенной на рис. 2. Все рассуждения легко распространить на вентиляционную сеть произвольной топологии с любым количеством источников тяги.

Пусть дана простейшая вентиляционная сеть, представленная на рис. 2.

Здесь ветвь №1 — воздухоподающий ствол, ветвь №2 — восточное крыло рудника, ветвь №3 — западное крыло, ветвь №4 — вентиляционный ствол. Пусть ветви имеют аэродинамические сопротивления R_1, R_2, R_3, R_4 .

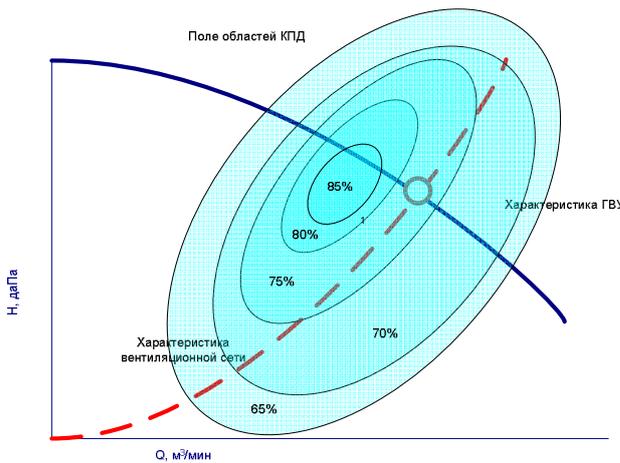


Рис. 1. Рабочая точка вентиляционной сети и КПД

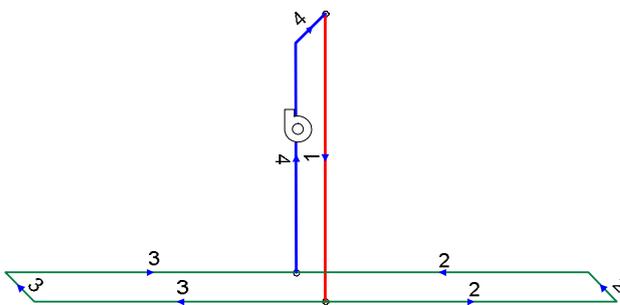


Рис. 2. Простейшая вентиляционная сеть

Отрицательным и положительным. Отрицательный способ — это увеличение сопротивления одной из ветвей на ту или иную величину. Предположим, что мы регулируем отрицательным способом воздухораспределение на крыльях — ветви №№2, 3. Это означает, что мы вводим дополнительное аэродинамическое сопротивление в каждую из этих ветвей. Пусть дополнительное сопротивление варьируется в пределах от 0 до M :

$$\begin{cases} R_2^A \geq M \\ R_2^A \leq M \\ R_3^A \geq M \\ R_3^A \leq M \end{cases}, \quad (4)$$

В ветви №4 установлен вентилятор главного проветривания с напорной характеристикой

$$H(Q) = A Q^2 + B Q + C, \quad (1)$$

где A, B и C — некоторые константы. В общем виде напорную характеристику можно задавать в более сложном виде, но для практических целей бывает достаточно использовать аппроксимацию параболой.

Воздухораспределение в данной сети описывается системой уравнений, выражающей 1-й и 2-й законы Кирхгофа.

Предположим, что на крыльях должно быть определенное количество воздуха (расчетные количества воздуха), т. е. введем линейные ограничения вида:

$$\begin{cases} Q_2 \geq Z_2 \\ Q_3 \geq Z_3 \end{cases}, \quad (3)$$

где Z_2, Z_3 — некоторые константы.

Регулировать воздухораспределение в вентиляционной сети можно двумя способами: отрица-

Таким образом, суммарное сопротивление, например, ветви № 3, будет равным $(R_3+R_3^A)$.

Второй способ регулирования — положительный — заключается в изменении напора, создаваемого вентиляторной установкой, расположенной в ветви №4. Изменить напор вентилятора можно изменением частоты вращения рабочего колеса вентилятора.

Путем некоторых математических преобразований и рассуждений можно получить полную формальную постановку задачи оптимизации (5) — (17):

$$\begin{cases} Q_1 - Q_2 - Q_3 = 0 \\ Q_4 - Q_2 - Q_3 = 0 \\ R_1 Q_1^2 + (R_2 + R_2^A) Q_2^2 + R_4 Q_4^2 = A(n) Q_4^2 + B(n) Q_4 + C(n) \\ R_1 Q_1^2 + (R_3 + R_3^A) Q_3^2 + R_4 Q_4^2 = A(n) Q_4^2 + B(n) Q_4 + C(n) \end{cases}, \quad (5)$$

$$\begin{cases} Q_2 > Z_2 \\ Q_3 > Z_3 \end{cases}, \quad (6)$$

$$\begin{cases} R_2^A \geq 0 \\ R_2^A \leq M \\ R_3^A \geq 0 \\ R_3^A \leq M \end{cases}, \quad (7)$$

$$\begin{cases} n \geq n_{\min} \\ n \leq n_{\max} \end{cases}, \quad (8)$$

$$N(n, Q_4) = D(n) Q_4^2 + E(n) Q_4 + F(n) \rightarrow \min, \quad (9)$$

$$\Delta H = \begin{pmatrix} \left(Q_1^H \frac{n}{n_0} \right)^2 & Q_1^H \frac{n}{n_0} & 1 \\ \left(Q_2^H \frac{n}{n_0} \right)^2 & Q_2^H \frac{n}{n_0} & 1 \\ \left(Q_3^H \frac{n}{n_0} \right)^2 & Q_3^H \frac{n}{n_0} & 1 \end{pmatrix}, \quad (10)$$

$$A(n) = \frac{\begin{vmatrix} H_1 \left(\frac{n}{n_0} \right)^2 & Q_1^H \frac{n}{n_0} & 1 \\ H_2 \left(\frac{n}{n_0} \right)^2 & Q_2^H \frac{n}{n_0} & 1 \\ H_3 \left(\frac{n}{n_0} \right)^2 & Q_3^H \frac{n}{n_0} & 1 \end{vmatrix}}{\Delta H}, B(n) = \frac{\begin{vmatrix} \left(Q_1^H \frac{n}{n_0} \right)^2 & H_1 \left(\frac{n}{n_0} \right)^2 & 1 \\ \left(Q_2^H \frac{n}{n_0} \right)^2 & H_2 \left(\frac{n}{n_0} \right)^2 & 1 \\ \left(Q_3^H \frac{n}{n_0} \right)^2 & H_3 \left(\frac{n}{n_0} \right)^2 & 1 \end{vmatrix}}{\Delta H}, C(n) = \frac{\begin{vmatrix} \left(Q_1^H \frac{n}{n_0} \right)^2 & Q_1^H \frac{n}{n_0} & H_1 \left(\frac{n}{n_0} \right)^2 \\ \left(Q_2^H \frac{n}{n_0} \right)^2 & Q_2^H \frac{n}{n_0} & H_2 \left(\frac{n}{n_0} \right)^2 \\ \left(Q_3^H \frac{n}{n_0} \right)^2 & Q_3^H \frac{n}{n_0} & H_3 \left(\frac{n}{n_0} \right)^2 \end{vmatrix}}{\Delta H}, \quad (11)$$

$$\Delta N = \begin{pmatrix} \left(Q_1^N \frac{n}{n_0} \right)^2 & Q_1^N \frac{n}{n_0} & 1 \\ \left(Q_2^N \frac{n}{n_0} \right)^2 & Q_2^N \frac{n}{n_0} & 1 \\ \left(Q_3^N \frac{n}{n_0} \right)^2 & Q_3^N \frac{n}{n_0} & 1 \end{pmatrix}, \quad (12)$$

$$D(n) = \frac{\begin{vmatrix} N_1 \left(\frac{n}{n_0}\right)^3 & Q_1^N \frac{n}{n_0} & 1 \\ N_2 \left(\frac{n}{n_0}\right)^3 & Q_2^N \frac{n}{n_0} & 1 \\ N_3 \left(\frac{n}{n_0}\right)^3 & Q_3^N \frac{n}{n_0} & 1 \end{vmatrix}}{\Delta N}, E(n) = \frac{\begin{vmatrix} \left(Q_1^N \frac{n}{n_0}\right)^2 & N_1 \left(\frac{n}{n_0}\right)^3 & 1 \\ \left(Q_2^N \frac{n}{n_0}\right)^2 & N_2 \left(\frac{n}{n_0}\right)^3 & 1 \\ \left(Q_3^N \frac{n}{n_0}\right)^2 & N_3 \left(\frac{n}{n_0}\right)^3 & 1 \end{vmatrix}}{\Delta N}, F(n) = \frac{\begin{vmatrix} \left(Q_1^N \frac{n}{n_0}\right)^2 & Q_1^N \frac{n}{n_0} & N_1 \left(\frac{n}{n_0}\right)^3 \\ \left(Q_2^N \frac{n}{n_0}\right)^2 & Q_2^N \frac{n}{n_0} & N_2 \left(\frac{n}{n_0}\right)^3 \\ \left(Q_3^N \frac{n}{n_0}\right)^2 & Q_3^N \frac{n}{n_0} & N_3 \left(\frac{n}{n_0}\right)^3 \end{vmatrix}}{\Delta N} \quad (13)$$

Функционал (5) — (13) не имеет аналитического решения и не решается безусловными методами вариационного исчисления, поэтому наиболее предпочтительными методами решения данной задачи являются численные методы нелинейного программирования. Задача об отыскании глобального экстремума функционала (5) — (13) относится к классу задач условной минимизации, вследствие чего к ней не применимы обычные безусловные методы, такие как метод градиентного спуска, ДФП-метод, Розенброка, Нелдера — Мида и др., т. к. в них ищется нижняя грань функционала по всему пространству решений. Поэтому для решения данной задачи следует применять методы условной оптимизации, такие как метод условного градиента, метод проекции антиградиента, метод штрафов и т. д.

Решение задачи (5) — (13) позволяет создать эффективный алгоритм оптимального управления воздухораспределением в рудничной сети, что позволяет значительно снизить затраты на эксплуатацию вентиляционного хозяйства шахт и рудников.

А.Ю.Снежневский

ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗДУШНЫХ ПОТОКОВ В НАДШАХТНЫХ ЗДАНИЯХ ПОСРЕДСТВОМ ВОЗДУШНЫХ ЗАВЕС

В практике обогрева стволов шахт и рудников для подогрева воздуха используются калориферные установки. Нагретая струя, выходящая из калориферного канала, составляет обычно лишь 20÷35 % от общего объема воздуха, остальная часть атмосферного воздуха поступает через устье ствола и надшахтное здание. Такой способ обогрева ствола характеризуется наличием в стволе двух воздушных потоков с существенно отличающимися термодинамическими параметрами. Если температура наружного воздуха в зимнее время может составлять $-20 \div -40$ °С, то на выходе из калориферного канала - $+40 \div 60$ °С. При этом очевидно, что более низким температурам наружного воздуха должны соответствовать более высокие на выходе из калориферного канала для того, чтобы в стволе температура оставалась постоянной. Аналогична зависимость температуры и от количества обрабатываемого воздуха, то есть чем меньшее количество воздуха подвергается обработке, тем выше его температура, что существенно влияет на процессы распространения и перемешивания потоков в стволе. Смешивание воздуха происходит на значительном (50÷200 м) расстоянии от места слияния струй, а разница температур в диаметрально-противоположных точках в отдельных поперечных сечениях ствола мо-

жет достигать 15 – 20°C. На участках с большим перепадом температур крепь ствола (особенно тубинговая) испытывает значительные температурные напряжения, приводящие к раскрытию продольных и поперечных швов с образованием течи и обмерзанием части ствола в зоне низких температур. Кроме того, расслоение потоков создает дополнительные трудности при осмотре и ревизии стволов, излишние потери тепла, вызывает ощутимые ошибки при проведении воздушно-депресссионных съемок и т.д. Особенно остро проблема расслоения воздушных потоков наблюдается в системах воздухоподготовки с вентиляторной подачей воздуха в ствол. В таких системах воздух подается непосредственно из калориферных установок в калориферный канал, при этом калориферный канал достаточно эффективно изолирован от атмосферного воздуха, т.е. смешивание атмосферного и подогретого воздуха происходит только в стволе. В зависимости от температуры наружного воздуха включается последовательно 1, 2 или большее количество калориферных установок. Анализ процессов смешивания в стволах разных типов показал, что эффективного смешения в стволах при существующих условиях добиться практически невозможно. Тем более, что в настоящее время условия работы калориферных установок настолько различны, что рекомендовать что-то одно нереально. И в проектах и на практике в расчетный период заложена подача воздуха через калориферный канал в количестве, составляющем не более 30% от общего расхода воздуха по стволу. Особое внимание следует уделить скипо-клетьевым стволам, т.к. скиповое и клетьевое отделения разделены решеткой, которая препятствует проходу подогретой струи через осевую линию, т.е. еще более отклоняет вниз траекторию оси подогретого потока. Также в таких стволах происходит просыпь частиц руды в ствол, в результате пыль оседает на армировке, стенах, кабелях, расстрелах и т.д.

Для выхода из сложившейся ситуации необходимо провести комплексные мероприятия по реконструкции систем подготовки воздуха. Следует увеличить количество воздуха, проходящее через систему подготовки воздуха и свести к минимуму подсосы через надшахтное здание и копёр.

Полностью герметизировать надшахтное здание и копёр не представляется возможным. Даже если весь воздух попытаться завести через калориферные или надшахтное здание, останутся значительные присосы воздуха через копёр. К сожалению, просто «перекрыть» эти присосы нельзя, поскольку имеет место интенсивное движение скипов и клетки вверх-вниз. Какие-либо механические открывающиеся-закрывающиеся заслонки вряд ли «приживутся», т.к. будут периодически ломаться. Необходима такая преграда, которая была бы проницаема для твердых тел и являлась бы препятствием для движения воздуха. Такой преградой может являться воздушная струя, препятствующая прохождению основного потока воздуха – воздушная завеса.

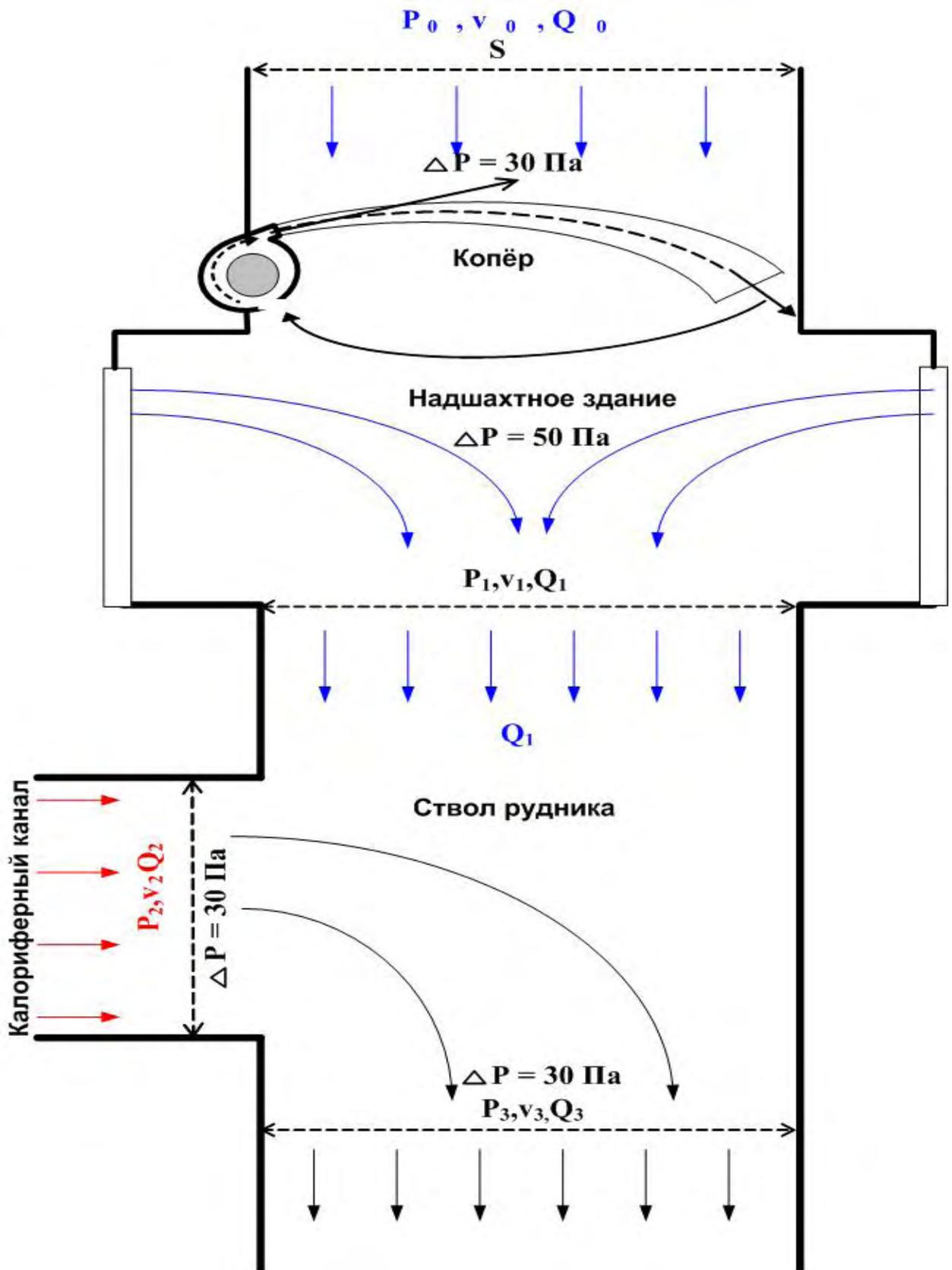


Рис.

На рисунке показана принципиальная схема работы воздушной завесы в воздухоподающем стволе. Основной поток действует на струю, изгибая её, а струя, в свою очередь, действует на основной поток, уменьшая его, и всё это происходит в канале постоянного сечения на небольшом участке порядка 5-10 метров. Воздух забирается из-под струи, при этом угол наклона, может быть произвольным. Условия в которых работает воздушная завеса моделируются тремя аэродинамическими сопротивлениями: k_1 - сопротивление надшахтного здания, k_3 - сопротивление рудника, k_2 - сопротивление смещения потоков в калориферном канале. Требуется определить, как изменятся при этом расходы Q_1 и Q_3 . Определённо можно сказать, что, сужая поток Q_1 , струя создаст дополнительное к k_1 сопротивление сужения-расширения, что приведёт к перераспределению расходов в пользу Q_2 , т.е. Q_2 увеличится, а Q_1 уменьшится. Общий расход $Q_3=Q_1+Q_2$, очевидно, несколько уменьшится, т.к. общее сопротивление увеличится. Таким образом, величина перераспределения расходов будет полностью определяться этим дополнительным сопротивлением.

Предлагается следующий способ расчёта баланса расходов с учётом этого сопротивления. Поскольку трением о стенки на таком участке можно пренебречь, то можно сказать, что столкновение потоков происходит при сохранении их суммарного импульса. Происходит обмен импульсами, но не его потеря на трение или столкновение со стенками. Ситуация напоминает случай абсолютно неупругого удара из классической механики, когда из закона сохранения импульса можно точно определить потери механической энергии при ударе, даже не вдаваясь в тонкости превращения этой энергии в тепловую или энергию механических колебаний. В нашем случае ситуация аналогична: если импульс сохраняется, то можно определить потерю энергии при взаимодействии воздушных потоков.

Численные расчёты показывают, что струи воздуха со скоростями порядка 10 - 15 м/с эффективны как воздушные завесы при перепадах давлений до 20 Па. Перепад давлений между атмосферой и надшахтным зданием составляет примерно 50 – 60 Па. Следовательно можно определённо сказать, что установка воздушной завесы ниже места разгрузки скипов в воздухоподающих стволах, даст положительный результат по перераспределению воздушных потоков в надшахтном здании. Перераспределение воздушных потоков в надшахтном здании позволит большую часть воздуха подавать через систему воздухоподготовки, что в свою очередь позволит снизить затраты на потребление тепловой энергии в зимний период года.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Медведев Б.И., Кременчуцкий Н.Ф., Скрипник А.Н. Исследование воздушной завесы как средства борьбы с утечками воздуха через надшахтные здания стволов. \\ Известия ВУЗов, Горный журнал, №6, 1965, с.84-86;
2. Цой С. Регулирование воздухораспределения в выработках воздушными завесами при встречном взаимодействии струй. \\ Вест.АН Каз.ССР.-1958.-№8.-с68-74.

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЖЕКТОРНЫХ ВЕНТИЛЯТОРНЫХ УСТАНОВОК В ШАХТЕ ОАО «КНАУФ ГИПС НОВОМОСКОВСК»

Шахта ОАО «Кнауф Гипс Новомосковск» с 1949 года ведет разработку Новомосковского месторождения гипса, расположенного в 70 км юго-восточнее г. Тулы.

Гипсовая залежь промышленной толщи имеет мощность порядка 16-18 м. Добыча гипса ведется подземным способом камерами сечением 132 м² и длиной до 700 м. Между камерами остаются целики шириной 9 м. Отбойка гипсового камня в камере осуществляется буровзрывным способом. Горные работы ведутся прямым порядком. Для предотвращения прорыва подземных вод в горные выработки в их кровле оставляется предохранительная пачка гипса мощностью 5-6 м.

Схема проветривания шахты – центральная. Способ проветривания – нагнетательный. Свежая струя воздуха поступает от вентилятора, расположенного на клетевом стволе (ВОД-30М). Исходящая струя из очистных камер поступает на вентиляционный горизонт и выдается по скиповым стволам № 1, 2 и грузовому стволу № 3. На сегодняшний день практически все отработанное пространство находится вблизи околоствольных горных выработок. В связи с тем, что развитие горных работ происходит за отработанным пространством, подача воздуха к местам ведения горных работ обеспечивается только за счет работы эжектирующих вентиляторных установок (ВУМП), размещенных в шахте. Без работы ВУМП проветривание шахты не представляется возможным.

В действующей системе проветривания рудника имеется большое количество вентиляционных сбоек, находящихся на главных выработках и в околоствольных дворах. Герметизациях, на первый взгляд, должна была позволить добиться улучшения проветривания панелей, а особенно очистных камер, при существующих вентиляторных установках без изменения вентиляционной сети. Ранее предлагалась дополнительная проходка стволов или размещение в шахте подземных вентиляторов главного проветривания с большей единичной мощностью с целью увеличения количества воздуха, подаваемого в шахту.

Однако анализ выполненных депрессионных и воздушных съемок и расчеты, проведенные на базе собранных исходных данных и результатов исследований, показали:

- шахта обеспечена достаточным количеством воздуха, расход которого позволяет удалить из шахты все образующиеся в ней газы (от взрывных работ и от машин с двигателями внутреннего сгорания), внешние утечки сведены к минимуму (11-12 %);

- к рабочим панелям приходит недостаточное количество воздуха, на 30-50 % менее необходимого. Этому способствуют утечки в отработанное пространство по имеющимся соединениям (более 230), которые герметизированы недостаточно хорошо, а также большая депрессия в околоствольных выработках (до 120 даПа);

- депрессия главных и панельных выработок колеблется от 19 до 1,5 даПа, депрессия очистных камер не регистрируется существующими методами и приборами;

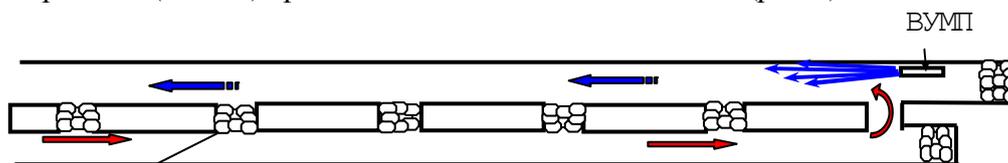
- аэродинамическое сопротивление от ствола до забоя по поступающей струе значительно меньше, чем исходящей струи. Основное сопротивление создается вентиляционными выработками и стволами. При нагнетательной схеме проветривания это только лишь усугубляет внутрирудничные утечки.

В результате выполненного анализа оказалось, что требуется последовательное решение следующих задач:

1. Интенсификация проветривания призабойных пространств.
2. Снижение сопротивления вентиляционных и отчасти воздухоподающих выработок.
3. Исключение огромного количества мест утечек воздуха из вентиляционной сети.

Основными техническими решениями при этом стали активные методы управления потоками воздуха. Активные методы управления потоками воздуха заключаются в установке вентиляторных установок местного проветривания (ВУМП) в забоях камер и передвижных вспомогательных вентиляторных установок (ПВВУ), размещаемых в воздухоподающих и вентиляционных выработках.

В качестве воздухоподающих и вентиляционных выработок решено применять одинаковые по сопротивлению спаренные выработки общим сечением более 250 м^2 , проходка которых осуществляется с использованием вентиляторных установок местного проветривания (ВУМП) производительностью до $1950 \text{ м}^3/\text{мин}$ (рис. 1).



Сбойки перекрываются по мере проходки отбитой рудой из забоя.
ВУМП – вентиляторная установка местного проветривания.

Рис. 1. Проветривание при проходке спаренными забоями

Подготовленные таким способом панели планируется отрабатывать обратным порядком (рис.2).

Выемка и доставка полезного ископаемого из забоев в предложенных схемах проветривания должна производиться последовательно (не более двух забоев одновременно), в направлении против движения вентиляционной струи. Отбойка горной массы и проветривание после взрывных работ не должны совпадать по времени с выемкой и доставкой полезного ископаемого.

В настоящее время на шахте проводится реконструкция вентиляционной сети с применением подземного вспомогательного вентилятора главного проветривания (ПВВГП). Необходимость реконструкции существующей вентиляционной сети шахты ОАО «Кнауф Гипс Новомосковский» обусловлена увеличением объемов добычи гипсового камня подземным способом. Целью реконструкции является обеспечение стабильного проветривания гипсовой шахты на период максимального удаления горных работ от существующих стволов и планируемого роста добычи гипсового камня. Переходный период на проектную схему вентиляции шахты составляет 10-11 лет, в течение этого времени предусматривается работа ПВВГП совместно с ГВУ. В ходе этого периода осуществится доработка начатых панелей, подготовка новых панелей, нарезка главных выработок и выработок под ПВВГП, монтаж и запуск в работу ПВВГП. В этот срок постепенно наращиваются мощности по добыче гипсового камня до 3 млн. тонн в год.

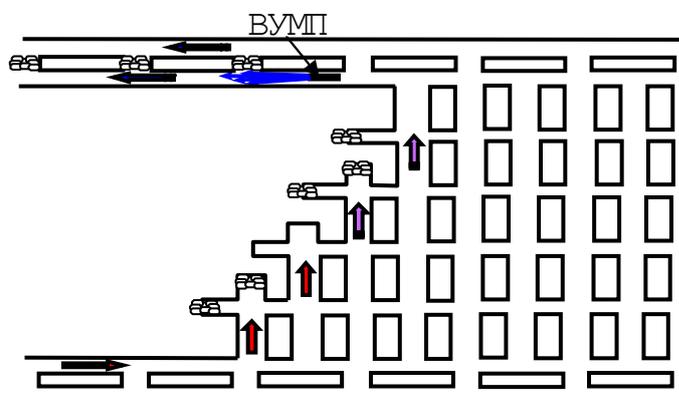


Рис. 2. Проветривание при обратном порядке отработки

РЕЗУЛЬТАТЫ ШАХТНЫХ ИСПЫТАНИЙ ЧАСТИЧНОГО ПОВТОРНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗДУХА ПРИ ПРОВЕТРИВАНИИ РУДНИКОВ ОАО «СИЛЬВИНИТ»

Известно, что повторное использование отработанного воздуха приводит к значительному снижению расходов на проветривание, уменьшает влияние поверхностных метеоусловий на микроклимат подземных добычных участков, способствует улучшению действенности проветривания. Калийные рудники как объект проветривания занимают особое место. Возможность организации на них повторного использования воздуха связана с практическим отсутствием в калийных рудниках источников непрерывного газовыделения.

В 2004 году на рудниках СКРУ-1 и СКРУ-2 ОАО «Сильвинит» сотрудниками Горного института УрО РАН лаборатории аэрологии и теплофизики была проведена работа по исследованию и наладке систем проветривания рудника с частичным повторным использованием воздуха. На этих рудниках большие утечки как внутренние (до 27% от подачи воздуха в рудник), так и внешние (до 65% от производительности ГВУ).

Компенсировать значительную часть утечек воздуха, возникающих как внутри рудника, так и внешних, призвана система проветривания с частичным повторным использованием воздуха. Это достигается тем, что устанавливаются дополнительные источники тяги между исходящей и свежей струей для преодоления депрессии между данными струями, создаваемой ГВУ. В результате производительность и давление ГВУ может быть снижено в 1,5÷2 раза. Это приведет к пропорциональному снижению внешних утечек. А работа дополнительных источников тяги, расположенных между исходящей и свежей струей, позволит перепускать дополнительное количество воздуха. Тем самым компенсируются внутренние утечки. Компенсация утечек может быть эффективно использована для частичного повторного использования воздуха.

Система вентиляции с использованием частичного повторного использования воздуха для рудников с поверхностным расположением ГВУ возможна только при наличии дополнительных источников тяги внутри рудника. При этом дополнительные источники тяги могут быть установлены для панелей, крыльев, горизонтов и т.д. Исходя из приведенных выше обоснований, заключающихся в максимальном использовании утечек воздуха, дополнительные вентиляторные установки решили расположить непосредственно между входящей и исходящей струей. Причем чем ближе к вентиляционному стволу, тем выше ожидаемый эффект компенсации утечек. Также в этом случае промежуточная очистка будет происходить за счет значительной длины вентиляционных выработок, их большой поверхности и разветвленности, а также из-за прибавления внутрирудничных утечек воздуха. На СКРУ-1 установку ПВВУ на базе ВМЭ-12А расположили в сбойке между шлюзами на вентиляционном стволе 2-бис на откаточном горизонте и открыли шлюза, на СКРУ-2 такую же установку расположили в сбойке с исходящей струей в районе ствола № 4.

Испытания проводились при 3-х режимах:

- 1) ГВУ работает в синхронном режиме, ПВВУ выключена;
- 2) ГВУ работает в асинхронном режиме, ПВВУ выключена;
- 3) ГВУ работает в асинхронном режиме, ПВВУ включена.

Результаты испытаний приведены в таблице.

Таблица

Рудник	Режим	Количество свежего воздуха, поступающего в рудник, м ³ /мин	Количество перепускаемого воздуха, м ³ /мин	Количество воздуха в руднике, м ³ /мин	Расчетное количество воздуха в руднике, м ³ /мин
СКРУ-1	1-й	15977		15977	10525
	2-й	7430		7430	
	3-й	6968	2468	9437	
СКРУ-2	1-й	9577		9577	13588
	2-й	5281		5281	
	3-й	5066	366	5432	

Из результатов испытаний видно, что, не смотря на то что ГВУ работает в асинхронном режиме, напора рециркуляционной установки недостаточно, чтобы обеспечить требуемое количество перепускаемого воздуха, так как противодействие, создаваемое ГВУ, близко к давлению, создаваемому рециркуляционной установкой. Особенно это заметно на руднике СКРУ-2, так как выработки главных направлений на этом руднике имеют большое сопротивление.

Анализ развития горных работ показывает, что очистные горные работы перемещаются к границам шахтного поля (на руднике СКРУ-1 – на юго-запад и северо-восток; на СКРУ-2 – на юго-запад и юго-восток). В складывающейся ситуации требуется перераспределение воздуха между крыльями с увеличением подачи к панелям, на которых ведутся добычные работы. При наличии закладочных работ такое перераспределение весьма проблематично из-за утечек, возникающих в местах закладки.

Поэтому в настоящее время ведутся работы по выбору мест расположения установок для проветривания с частичным повторным использованием воздуха на отдаленных панелях, на которых ведутся добычные работы. В этом случае компенсируются внутренние утечки, возникающие при движении воздуха к границам шахтного поля.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ НЕЙТРАЛИЗАТОРА СЕРОСОДЕРЖАЩИХ ГАЗОВ В АТМОСФЕРЕ КАЛИЙНЫХ РУДНИКОВ

В соответствии с программой работ по нейтрализации серосодержащих газов на руднике СКРУ-3 ОАО «СИЛЬВИНИТ» были проведены промышленные испытания. Непосредственно в рабочей зоне пласта АБ на 3-ей панели, 6-го блока, участка №5, на комбайне У-10 №75 с правой стороны был установлен генератор озона, который подключили к осветительной сети комбайна.

Получение озона производилось с помощью генератора, в состав которого входит облучатель-озонатор, состоящий из дуговой ртутной лампы высокого давления и пуско-регулирующей аппаратуры. На рис.1 представлен общий вид генератора озона.

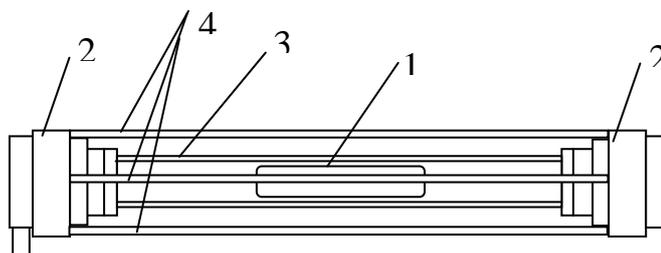


Рис.1.

Бактерицидная лампа (1) помещена в герметичный корпус, состоящий из стеклянной кварцевой трубы (3), арматуры (2) и предохранительной решетки (4).

На рис. 2 представлена схема размещения оборудования в призабойном пространстве выработки с комбайновым комплексом (вид сверху) и точки контроля для отбора проб воздуха.

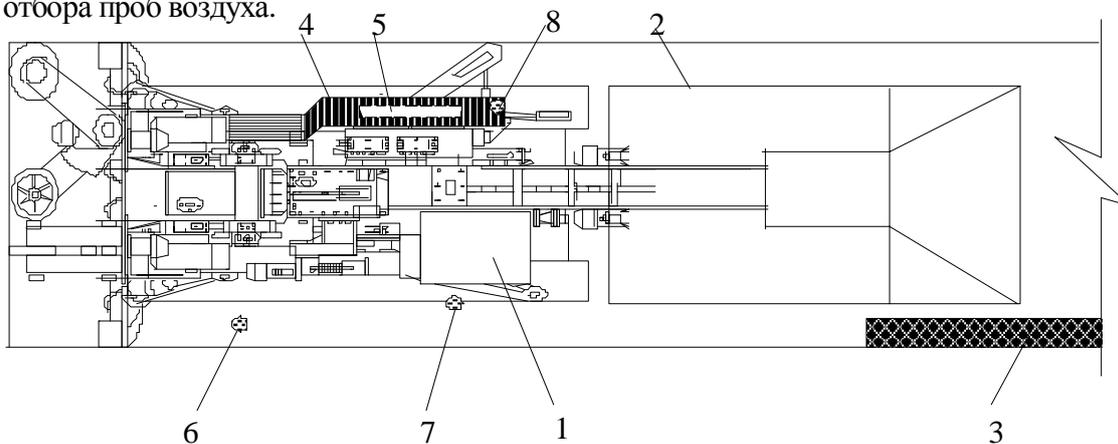


Рис. 2. Схема отбора проб воздуха:

- 1 – рабочее место машиниста комбайнера; 2 – бункер перегружатель;
- 3 –нагнетательный воздухопровод; 4 – выходной воздухопровод системы пылезащиты; 5 –облучатель-озонатор; 6,7,8 – точки отбора проб рудничного воздуха на химический анализ

Для оценки эффективности утилизации ядовитых газов достоверной является методика, основанная на контроле концентраций сероводорода до и после взаимодействия его с озоном. Отношение конечной концентрации сероводорода в объеме обрабатываемого газа к исходной в процентном отношении и будет вели-

чиной нейтрализующей эффективности озона, т.е. степенью очистки рудничного воздуха.

Концентрация сероводорода (исходная и конечная) в обрабатываемом воздухе определяется фотоколориметрическим методом в соответствии с МВИ «Руководство по контролю вредных веществ в рудничном воздухе, 2002 г.».

Перед началом испытаний проводилось определение фоновой концентрации в призабойном пространстве выработки (регистрация показаний при неработающем комбайне). Испытания проводились последовательно в четырех режимах.

Режим 1. Перед началом проведения испытаний при неработающем комбайне измерялись количество воздуха, поступающего в призабойное пространство выработки, температура, отбирались пробы рудничного воздуха в контрольных точках 6,7,8 для определения концентрации сероводорода (CH_2S) и метилмеркаптана (CCH_3SH).

Режим 2. Включается генератор озона, и в течение 15 минут производится экспресс анализ на содержание метилмеркаптана в контрольных точках 6,7,8 и отбираются пробы рудничного воздуха для определения сероводорода. Проведение замеров осуществляется при неработающем комбайне и включенном генераторе озона.

Режим 3. Включается комбайн и производится отбойка руды в количестве одного самоходного вагона, после чего отбираются пробы рудничного воздуха для определения концентраций сероводорода в контрольных точках 6,7,8 и проводится определение метилмеркаптана экспресс-методом. Проведение замеров проводится при работающем комбайне и выключенном генераторе озона.

Режим 4. Включается генератор озона и в течение 15 минут производятся замеры метилмеркаптана и отбираются пробы рудничного воздуха в контрольных точках 6,7,8. Проведение замеров осуществляется при работающем комбайне и включенном генераторе озона.

ОБРАБОТКА И ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Расчет концентрации сероводорода производят по формуле:

$$C_{\text{вес.}} = \frac{a(\text{мг}) \cdot V_{\text{погл.}} (\text{л})}{V_{\text{н.у.}} (\text{л}) \cdot V_{\text{ан.}} (\text{л})}$$

где $C_{\text{вес.}}$ - весовая концентрация сероводорода в мг/л; a - концентрация сероводорода, определенная по градуировочному графику в мг; $V_{\text{погл.}}$ - объем поглощенного раствора, л; $V_{\text{ан.}}$ - объем пробы взятый для анализа, л; V - объем воздуха, отобраный для анализа, л; M - молекулярный вес.

Пересчет концентрации в мг/м^3 производят по формуле:

$$C(\text{мг/м}^3) = \frac{a \cdot V_{\text{погл.}}}{V_{\text{н.у.}} \cdot V_{\text{ан.}}} \cdot \frac{M \cdot 10000}{22,4}$$

Эффективность процесса нейтрализации или степень очистки рудничного воздуха от сероводорода определяется по формуле:

$$\eta = \frac{C_{\text{исх}} - C_{\text{оч.}}}{C_{\text{исх}}} \times 100; \quad \%,$$

где η – степень нейтрализации серосодержащих газов, %;

$C_{\text{исх}}$ и $C_{\text{оч.}}$ – концентрация сероводорода в исходном и очищенном рудничном воздухе, мг/м^3 .

Полученные результаты измерений в процессе промышленных испытаний представлены в таблице 1. Зависимость изменения концентрации серосодержащих газов при различных режимах испытаний изображены на рис. 3.

Таблица 1

Время, мин.	Режим 1		Режим 2		Режим 3		Режим 4	
	Концентрации серосодержащих газов, мг/м ³							
	CH ₃ SH	H ₂ S	CH ₃ SH	H ₂ S	CH ₃ SH	H ₂ S	CH ₃ SH	H ₂ S
0	3.1	10.0	3.1	10.0	3.1	10.0	40	20.0
3	3.3	10.3	2.6	9	13.4	15	37	18.7
6	2.8	9.3	2.4	8.4	22.6	18.0	31.5	17.2
9	2.9	9.0	2	7.9	30	19.5	26.3	14.9
12	3.0	9.2	1.6	7.4	36	20.0	21	10.8
15	3.2	9.4	1.1	6.6	40	20.0	20	10.0

Примечание: ПДК (H₂S) - 10 мг/м³

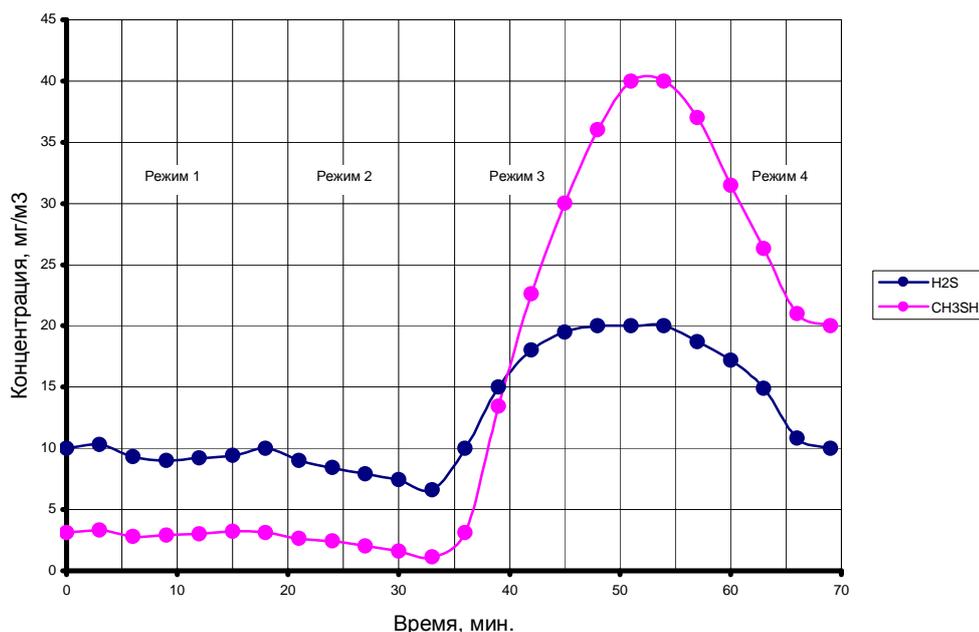


Рис. 3. Динамика изменения концентрации серосодержащих газов

В процессе озонирования газо-воздушной смеси (режим 2) достигнуто снижение концентрации метилмеркаптана в 1,4 раза, сероводорода в 1,5 раза. Степень очистки рудничного воздуха от метилмеркаптана составляет 30%, а от сероводорода 34%.

При одновременно работающем комбайне и озонировании газо-воздушной смеси (режим 4) достигнуто снижение концентрации метилмеркаптана и сероводорода в 2 раза. Степень очистки рудничного воздуха от серосодержащих компонентов составляет до 50%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Земсков А.Н.. Исследования по проблеме газодинамических явлений и газовых режимов на Верхнекамских калийных рудниках: Отчет о НИР // ППИ; Руководитель – Пермь, 1980 г.
2. Белинский В.А.. Ультрафиолетовая радиация солнца и неба. М.: МГУ, 1968.
3. К образованию озона при обеззараживании воздуха УФ излучением в вентиляционных каналах / Ю.И. Шатилов, Р.Э. Приyman, Л.Ю. Виснапуу, В.В. Сысов // Гигиена и санитария. 1989. №9. С. 72-73.
4. Алферова Л.К. Многофункциональный ультрафиолетовый облучатель-озонатор // Новые технологии. 1996. С. 7-9.

ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕГЛАМЕНТОВ ДЛЯ ОСНОВНЫХ ПРОЦЕССОВ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

В 2003 году Госгортехнадзор России по согласованию с Минюстом утвердил новые «Единые правила безопасности при разработке рудных, нерудных и россыпных месторождений полезных ископаемых подземным способом». Эти правила значительно отличаются от ранее действовавших как по объему, так и по содержанию. Редакция правил была разработана Горным институтом с учетом опыта работы горных предприятий, результатов научно-исследовательских работ и предложений предприятий и организаций.

Принципиально новый подход при разработке Правил для работы в условиях либерализации хозяйственной деятельности заключался в переносе центра тяжести ответственности с государства на промышленные предприятия при свободе выбора и разработке тех или иных технических решений с учетом специфики конкретных горно-геологических и горно-технических условий, минимизации количества требований, носящих федеральный уровень и касающихся общепромышленных интересов. Предусматривается большее участие научно-исследовательских организаций, способных к решению конкретных вопросов разработки технических требований и обеспечения промышленной безопасности.

В основу содержания были положены изменения, которые произошли или планируются в связи с выходом новых законов и других нормативных правовых актов в области промышленной безопасности (законы «О промышленной безопасности опасных производственных объектов», «О лицензировании отдельных видов деятельности», «Об отходах производства и потребления», «Правила применения технических устройств на опасных производственных объектах» и др.), а также вступившего в силу с 1 июля 2003 года Федерального закона «О техническом регулировании», принятом 27 декабря 2002 года, который устанавливает новые, гармонизированные с международным опытом технического регулирования, правовые отношения в области разработки, исполнения и контроля обязательных требований к продукции, эксплуатации, процессам производства, хранения, перевозки, реализации и утилизации.

В связи с тем, что реализация этого закона предопределяет необходимость реформирования системы технического регулирования в области промышленной безопасности, новые Единые правила безопасности предусматриваются как нормативный документ на переходный период реализации данного закона – по разработке технических регламентов, стандартизации и других требований. Единые правила безопасности учитывают новые отношения в сфере технического регулирования и, в частности, по разработке технологических регламентов на процессы производства, сокращение (оптимизация) регламентирующих требований (общий объем Единых правил сокращен почти в 3 раза, количество разделов с 17 до 10, пунктов требований с 650 до 460, почти полностью исключен II том Приложений, действовавших Единых правил), обеспечения соответствия требований фактическим условиям разработки месторождений и технологическим процессам.

В структуре Единых правил исключены разделы: «Промышленной санитарии», «Маркшейдерского обеспечения подземных горных работ» и «Ответственности за нарушение Правил безопасности», но дополнительно введен раздел «Дополнительные требования безопасности при отработке месторождений со специфическими свойствами полезных ископаемых», в котором в том числе предусмотрен специальный подраздел «При отработке калийно-магниевого и каменной солей».

При его разработке учитывался весь комплекс вопросов, определяющих основу и специфические условия разработки месторождения, основные требования по обеспечению промышленной безопасности и сохранности рудников и месторождений.

В содержании раздела отражены: сложность геологического строения месторождения и условий разработки промышленных пластов, особенности их отработки в условиях городской и промышленной застройки, возможности отработки пластов с жесткими и податливыми целиками, требования по закладочным работам, наличие труднопроветриваемых зон и использования передвижных (вспомогательных) вентиляторных установок (ППВУ, ПВВУ), возможность частичного повторного использования воздуха, переход к расчетному методу определения минимально допустимой скорости движения воздуха, требования по устройству заземляющей сети рудника, охрана рудников от затопления и объектов на земной поверхности от вредного влияния горных работ, отработка рудников гидроизолированными участками с сооружением водонепроницаемых перемычек, по контролю за расслопроявлениями в горных выработках, создание зон смягчения и закладки выработанных пространств, в том числе глинисто-солевыми шламами, по контролю за эффективностью принимаемых мер охраны, по ликвидации и консервации калийных рудников.

Для обеспечения технического регулирования процессами горного производства на предприятиях в соответствии с ЕПБ для каждого производственного процесса должны быть разработаны регламенты технологических процессов. Порядок их разработки установлен Типовыми методическими рекомендациями «О порядке разработки, согласования и утверждения регламентов технологических производственных процессов при ведении горных работ подземным способом», утвержденными Госгортехнадзором России.

В Регламенты включаются меры, выполнение которых направлено на обеспечение безопасной работы шахт на всех стадиях производственных процессов при полном соответствии их содержания уровню принятых проектных решений, прогрессивным методам и схемам организации работ с учетом отечественного и зарубежного опыта.

В Регламентах отражаются мероприятия по обеспечению:

- систем контроля за производственными процессами, прогнозирования возникновения и развития аварий, инцидентов, случаев травматизма;
- прогнозирования и предупреждения внезапных выбросов газа, горной массы, прорывов вод, горных ударов и других геодинамических проявлений;
- пожарной безопасности;
- установленного пыле-газового режима;
- безопасных условий работ в подземных горных выработках, комплексе надшахтных зданий и сооружений, на подрабатываемых территориях в нормальном режиме и в аварийных ситуациях;
- локализации и ликвидации аварий и их последствий.

Технологические регламенты предусматривается разрабатывать на следующие виды производственных процессов:

1. Проходка шахтных стволов, в том числе специальными способами (бурение, тампонаж, замораживание, опускная и щитовая крепь).

Должны быть отражены требования промышленной безопасности по стадиям производства работ, проектированию, оснащению и монтажу оборудования, эксплуатации оборудования, креплению и армировке стволов, обеспечению приборами контроля, организации производства работ, систем контроля за процессами производства.

2. Проходка подготовительных выработок, включая разведочные горнокапитальные и нарезные выработки.

Отражаются требования к выбранным способам проходки и крепления, транспорта и вентиляции, организации проходческих работ и применения специальных средств проходки и профилактики при наличии специфических горно-геологических условий (горные удары, внезапные выбросы, суфляры и др.) и в зависимости от назначения выработок.

3. Ведение очистных работ.

Устанавливаются требования по выбору систем разработки и способов выемки полезного ископаемого, начиная со стадии проектирования, по параметрам системы разработки, обеспечивающим безопасность работ и сохранность обрабатываемых территорий (объектов), предупреждению образования заколов, обрушений пород кровли, особенностям ведения работ в сложных горно-геологических условиях, способам управления кровлей, вопросам отбойки, выпуска, транспортировки руды и профилактики опасных проявлений (выбросов, горных ударов, газовой выделений и др.), а также закладки выработанных пространств.

4. Эксплуатация шахтных подъемов.

Устанавливаются требования по эксплуатации подъемных установок в зависимости от назначения (грузолюдские, скиповые и т.д.) и применяемого типа (одноконцевые, многоканатные, со шкивами трения) подъемной установки, применяемых подъемных и прицепных устройств и канатов, организации системы контроля за техническим состоянием применяемого оборудования с использованием методов неразрушающего инструментального контроля и т.д.

5. Проветривание шахт.

Устанавливаются требования, с учетом конкретных условий месторождения (шахты), по организации проветривания и расчету необходимого количества воздуха, газовому режиму, работе главных и вспомогательных вентиляционных установок, порядку разработки вентиляционных планов, контролю воздушной среды, реверсированию вентиляционных струй и т.д.

6. Эксплуатация технологического транспорта.

Устанавливаются требования по эксплуатации всех видов применяемого технологического транспорта (локомотивная откатка, конвейерный транспорт, машины с двигателями внутреннего сгорания), разработке систем контроля за безопасной их эксплуатацией, по установлению маршрутов движения и скоростей машин техническому обслуживанию и выпуску на линию, состоянию откаточных и транспортных выработок, использованию систем СЦБ и автоматики, обеспечению системами автоматического пожаротушения и сигнализации на приводных станциях конвейеров с трудносгораемыми лентами и автоматической пожарной сигнализацией и системами автоматического пожаротушения по всей длине конвейера с трудновоспламеняющейся лентой, порядку эксплуатации и обслуживанию машин с двигателями внутреннего сгорания и т.д.

7. Противопожарная защита шахт.

Устанавливаются требования по порядку ведения огневых работ в шахте и в надшахтных зданиях, допуску и мерам контроля безопасного производства работ.

Предусматривает требования по выбору способов пожаротушения и нормированию применяемых противопожарных средств и их размещению, применению специальных устройств для локализации пожара в горных выработках, оборудованию противопожарных складов, оснащению системами автоматического пожаротушения и аварийной сигнализации.

8. Защита рудников от затопления и охрана объектов на земной поверхности от вредного влияния горных работ.

Устанавливает требования по проектированию, ведению горных и геолого-разведочных работ и выбору мер охраны рудников от затопления и охране объектов на земной поверхности, ликвидации возможных расслопроявлений и прорывов вод, организации водоотлива, осуществлению горных и конструктивных мер для охраняемых объектов, ведению наблюдений и прогнозированию деформаций земной поверхности, оборудованию аварийных складов для возведения гидроизолирующих перемычек.

9. Ведение закладочных работ.

Устанавливает требования по выбору вида закладочных работ, по полноте закладки выработанных пространств, срокам отставания закладочных работ, по контролю за качеством закладочных работ и их безопасным производствам.

Указанные виды производственных процессов, связанные с ведением подземных горных работ, на которые требуется разработка технологических регламентов, могут быть дополнены, изменены в зависимости от конкретных условий.

Предусматривается следующий порядок разработки технологического регламента:

1. Проектные организации разрабатывают Регламенты в качестве неотъемлемой составной части проекта на строительство, эксплуатацию, реконструкцию и модернизацию, ликвидацию и консервацию шахты или возобновления горных работ при выводе объектов горных работ из консервации. Проект представляется проектными организациями для проведения экспертизы в установленном порядке.

2. При отсутствии в ранее разработанной проектной документации Регламента или при изменении технологии, замене применяемых машин и оборудования организация (предприятие), эксплуатирующая шахту (подземный рудник) разрабатывает Регламент собственными силами или привлекает к выполнению этой работы специализированные проектные или научно-исследовательские организации.

Разработанный проект Регламента подлежит рассмотрению и обсуждению на технических советах организаций (предприятий). После обсуждения и внесения необходимых поправок проект Регламента подписывается руководителем и передается в независимую экспертную организацию на заключение.

Регламент вводится в действие приказом по организации (предприятию).

В соответствии с ЕПБ за истекший период было разработано семь технологических регламентов для ОАО «Сильвинит», ОАО «Уралкалий» и ОАО «Кнауф Гипс Новомосковск».

На основании результатов исследований и анализа состояния промышленной безопасности при эксплуатации ленточных конвейеров в калийных рудниках были даны предложения по разработке «Технологических регламентов по эксплуатации ленточных конвейеров при ведении подземных горных работ» в ОАО «Сильвинит» и ОАО «Уралкалий». В них были учтены предложения Госгортехнадзора России, опыт работы калийных рудников, в том числе ПО «Беларуськалий». Были заложены требования, отвечающие условиям калийных рудников, и, в частности, по оснащению средствами автоматического пожаротушения магистральных конвейеров с резино-тросовой лентой на приводных и натяжных станциях, с резино-тканевой лентой на приводных станциях. Госгортехнадзор России утвердил заключение экспертизы по Регламенту для ОАО «Сильвинит».

На основании исследований по «Специфике формирования газовой обстановки и состояния ведения горных работ в рабочих зонах газоносных пластов на рудниках ОАО «Уралкалий» была разработана новая редакция «Специальных мероприятий по безопасному ведению горных работ на Верхнекамском месторождении калийных солей в условиях газового режима в ОАО «Уралкалий» (технологи-

ческий регламент). В них учтен опыт работы рудников и анализ аварийных ситуаций, свидетельствующих о том, что опасные скопления газов возможны только в выработках рабочих зон газоносных пластов при отсутствии или нарушении режима их проветривания. С учетом этих особенностей принят апробированный на практике порядок отнесения рабочих зон к группам опасности по газу и ГДЯ.

Предусмотрены взаимоотношения технологического персонала и технических служб рудника, ВГСЧ и контролирующих органов по обеспечению безопасного производства горных работ на калийных рудниках в условиях газового режима.

Определены требования по организации проветривания горных выработок и меры по предупреждению их загазирования, мероприятия по разгазированию выработок при превышении допустимых концентраций горючих газов.

Предусмотрен оперативный контроль во всех выработках рабочих зон в соответствии с требованиями «Инструкции по замеру горючих газов на рудниках ОАО «Уралкалий» с особенностями контроля в зависимости от групп опасности по газам и ГДЯ. В качестве основного технического средства оперативного контроля содержания горючих газов предусматриваются стационарные приборы непрерывного действия, устанавливаемые на забойном оборудовании, а для персонала рудников переносные приборы эпизодического и непрерывного действия.

В зависимости от групп газовой опасности определены основные требования по эксплуатации электроустановок, машин с двигателями внутреннего сгорания, по ведению взрывных, сварочных и огневых работ в горных выработках, а также бурению геолого-разведочных и других скважин.

Установлен порядок допуска электрических измерительных приборов периодического действия в общепромышленном исполнении и электрооборудования в исполнении РН и РП и применения машин с бензиновыми и дизельными двигателями в I и II групп опасности. Допущено применение в рабочих зонах I и II групп опасности неперехватываемых ВВ, и в забоях, проветриваемых за счет общешахтной депрессии, допускается взрывание без забойки шпуров. В рабочих зонах III группы опасности ведение взрывных работ разрешено только с применением предохранительных ВВ с донно-устьевой забойкой шпуров и с особым порядком взрывных работ на карналлитовом пласте.

Дополнительными мероприятиями при ведении горных работ в рабочих зонах II и III групп опасности установлены классификация газодинамических явлений (ГДЯ), предупредительные признаки потенциальной опасности ГДЯ, а также их предвестники. Введен порядок и методы прогноза опасности ГДЯ по новому «Руководству по прогнозу зон, опасных по газодинамическим явлениям, для условий рудников ОАО «Уралкалий», для сильвинитовых пластов, а также пласта В – сильвинитового или смешанного состава.

Установлен порядок ведения горных работ, отработки пластов и технологические профилактические мероприятия по предупреждению ГДЯ, включая параметры профилактического и защитного бурения дегазационных шпуров. Установлен порядок расследования ГДЯ различной интенсивности.

Были разработаны «Технологические регламенты по организации проветривания» для рудников ОАО «Уралкалий» и шахты ОАО «Кнауф Гипс Новомосковск».

При разработке регламентов учтены опыт проветривания рабочих зон и рудников в специфических условиях отработки шахтных полей и газового режима и результаты исследований, проведенных Горным институтом УрО РАН, ОАО «Галургия», ПГТУ и ОАО «Уралкалий».

Расчет количества воздуха, необходимого для проветривания калийных рудников, предусматривается по отработанной методике позабойно суммированием потребностей отдельных забоев, действующих выработок, блоков, рабочих зон, участков, панелей, крыльев шахтного поля, общешахтных камер служебного назначения с введением обоснованных коэффициентов запаса.

Расчет расхода воздуха предусматривается производить по факторам: взрывоопасных газов, сероводорода, выхлопным газам ДВС, газам от взрывных работ и минимально допустимой скорости движения воздуха. Для дальнейших расчетов принимается наибольший расход воздуха.

При расчете количества воздуха по фактору ДВС дана новая методика расчета, основанная на обеспечении разжижения выхлопных газов до ПДК каждого нормируемого компонента. С учетом статистической обработки результатов фактических замеров их концентраций на всех режимах работы двигателя с использованием или без использования газоочистителей.

В соответствии с требованиями ЕПБ в регламенте для повышения эффективности проветривания рабочих зон допускается частичная рециркуляция воздуха в пределах шахтного поля, крыла, отдельных панелей, блоков. Дана принципиальная схема использования рециркуляционного проветривания.

Установлен порядок расчета схем с применением повторного использования воздуха для проветривания рабочих зон, крыла, шахтного поля с учетом коэффициента рециркуляции и количества рабочих зон, проветриваемых с использованием рециркуляции, в том числе при наличии общекрыльевого или общерудничного рециркуляционного контура.

Предусматривается для осуществления рециркуляционных схем использования вентиляционных сооружений (перемычки, ляды, сбойки, кроссинги), вентиляторы (ГВУ) и вспомогательного проветривания (ПВУ, ППВУ, ПВВУ).

В состав регламента также включены организация проветривания рудника, руководство по вентиляции труднопроветриваемых зон, правила отбора проб рудничного воздуха и контроля рудничной атмосферы, порядок ведения вентиляционных журналов и составления вентиляционных планов.

Для шахты ОАО «Кнауф Гипс Новомосковск» регламент составлен по такой же схеме с учетом особенностей разработки и отсутствия взрывоопасных газов.

Для шахты ОАО «Кнауф Гипс Новомосковск» также разработаны два регламента:

– «Противопожарная защита шахты ОАО «Кнауф Гипс Новомосковск», в котором определены требования по противопожарной защите зданий, сооружений на поверхности и стволов шахты, горных выработок, оснащенности поверхностного и подземного противопожарных складов. Требования по производству сварочных и газопламенных работ, профилактические мероприятия;

– «Эксплуатация технологического транспорта на шахте ОАО «Кнауф Гипс Новомосковск», в котором отражены требования по безопасной эксплуатации машин с двигателями внутреннего сгорания (ДВС) и систем газоочистки, по эксплуатации гаражей и складов ГСМ, а также по эксплуатации ленточных конвейеров и локомотивного транспорта.

Разработка технологических регламентов обеспечивает приведение нормативной базы предприятий в соответствие с требованиями ЕПБ, создание новых форм технического регулирования в вопросах промышленной безопасности в соответствии с действующим законодательством и позволяет приблизиться к реализации закона «О техническом регулировании».

ГЛАВНЫЕ ВЕНТИЛЯТОРНЫЕ УСТАНОВКИ РУДНИКОВ ОАО «СИЛЬВИНИТ»

Объектом исследований являлись главные вентиляторные установки (ГВУ) рудников СКРУ-1, СКРУ-2 и СКРУ-3 после их реконструкции.

Цель работы – определение действительных аэродинамических характеристик ГВУ рудников ОАО «Сильвинит» после их реконструкции.

Методы исследований ГВУ включали проведение опытно-промышленных испытаний по разработанной и утвержденной в установленном порядке «Методике проведения аэродинамических испытаний главных вентиляторных установок (ГВУ) рудников ОАО «Сильвинит».

ГВУ калийных рудников ОАО «Сильвинит» располагаются на дневной поверхности у устья скиповых стволов. Они смонтированы на базе центробежных вентиляторов ВРЦД-4,5, в которых при реконструкции заменены изношенные вращающиеся части (вал с рабочим колесом). В результате реконструкции и конструктивных изменений вентиляторы стали ВРЦД-4,5С. В соответствии с ГОСТ 10921 – 90 [1] их аэродинамические характеристики были получены на моделях в лабораторных условиях. Как правило, лабораторный эксперимент проводится в «идеальных» условиях, отличающихся от реальных производственных (например: геометрия каналов). Для получения достоверной картины работы ГВУ необходимо периодически определять их действительные аэродинамические характеристики.

Режим работы всех исследуемых ГВУ всасывающий. Кроме воздуха, прошедшего через рудник, в ГВУ поступают поверхностные утечки (подсосы) воздуха. Для получения нескольких параметров работы ГВУ менялось аэродинамическое сопротивление сети, на которую работал вентилятор (открывали-закрывали шлюзовые ворота, стволовые противопожарные ляды).

Аэродинамические параметры замерялись при испытаниях и рассчитывались в соответствии с «Методикой ...». В результате аналитические выражения для аэродинамических кривых при различных углах установки лопаток осевого направляющего аппарата, например для ГВУ рудника СКРУ-3 имеют вид:

1. Для ВУ-1 :

- 0 град. $P_{ст} = -0,0025 Q_{ГВУ}^2 + 0,61480 Q_{ГВУ} + 914,08$;
- 20 град. $P_{ст} = -0,0023 Q_{ГВУ}^2 + 0,38310 Q_{ГВУ} + 893,78$;
- 40 град. $P_{ст} = -0,0027 Q_{ГВУ}^2 + 0,40560 Q_{ГВУ} + 837,60$;
- 60 град. $P_{ст} = -0,0040 Q_{ГВУ}^2 + 0,08721 Q_{ГВУ} + 839,49$;

2. Для ВУ-2:

- 0 град. $P_{ст} = -0,0023 Q_{ГВУ}^2 + 0,3810 Q_{ГВУ} + 843,08$;
- 20 град. $P_{ст} = -0,0023 Q_{ГВУ}^2 + 0,2831 Q_{ГВУ} + 803,78$;
- 40 град. $P_{ст} = -0,0025 Q_{ГВУ}^2 + 0,1056 Q_{ГВУ} + 787,60$;
- 60 град. $P_{ст} = -0,0040 Q_{ГВУ}^2 + 0,03781 Q_{ГВУ} + 785,36$.

Количество воздуха, поступающего в рудник, а так же поверхностные утечки при нормальном режиме проветривания приведены ниже.

Таблица 1

Расходы воздуха через рудник и поверхностные утечки

ВУ	Параметр	Угол установки лопаток направляющего аппарата, град.			
		0	20	40	60
ВУ-1	Расход через рудник	405,25	385,5	370,52	273,67
	Утечка	244,3	229,1	189,7	154,4
ВУ-2	Расход через рудник	387,7	370,8	334	267,2
	Утечка	219,4	206,6	192,8	151,1

Аэродинамические сопротивления, определенные при испытаниях, на которые работали ВУ, сведены в табл. 2.

Таблица 2

№	ВУ	Аэродинамические сопротивления, μ				
		Rc – сети, на которую работает ГВУ			Rp – рудника	Ru – утечки
		нормальный	ляды закрыты	ворота открыты		
1	ВУ-1	0,000650	0,000767	0,000491	0,0016	0,004984
2	ВУ-2	0,000652	0,000770	0,000489	0,0016	0,004989

На рисунке показаны аэродинамические характеристики ВУ-2 рудника СКРУ-3.

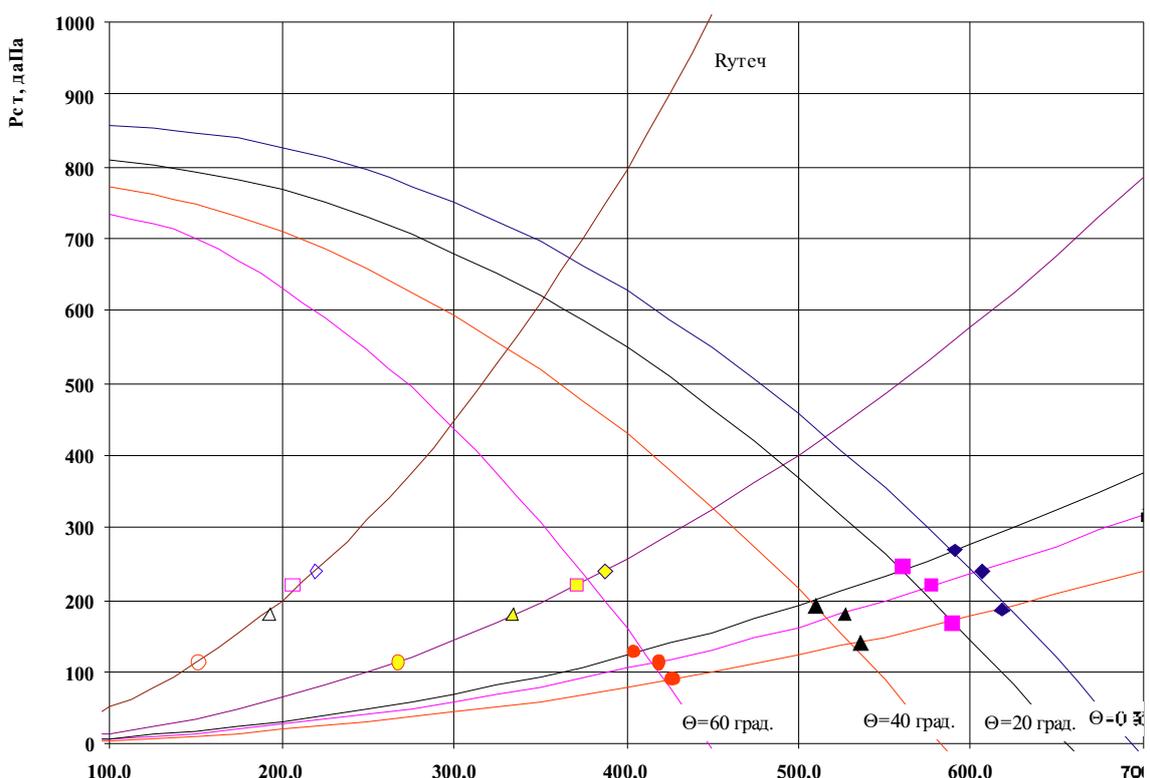


Рис. Аэродинамическая характеристика ВУ-2 рудника СКРУ-3

Результатом исследований явились:

- аналитические выражения, описывающие аэродинамические параметры вентиляторов при углах установки лопаток направляющего аппарата 0; + 20; + 40 и +60 градусов; получены действительные аэродинамические характеристики ГВУ рудников ОАО «Сильвинит» на базе вентиляторов ВРЦД-4,5С;
- аэродинамические сопротивления рудников Rp, поверхностных утечек воздуха Ru и вентиляционных сетей Rc, на которые работают ВУ;
- рабочие точки, определяющие статическое давление и производительность, развиваемые ГВУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 10921-90 Вентиляторы радиальные и осевые. Методы аэродинамических испытаний. М.: Изд-во стандартов. 1991. – 32 с.

ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ ИЗ ПОЧВЫ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК НА I КАЛИЙНОМ ГОРИЗОНТЕ РУДНИКА 1 РУ ПО «БЕЛАРУСЬКАЛИЙ»

Перспективы успешного существования РУП «ПО «Беларуськалий» во многом зависят от того, сумеет ли предприятие сохранить и укрепить свои позиции на внешнем рынке в ближайшие годы. Необходимым условием для выполнения этой сложной задачи является сохранение достигнутых объемов производства калийных удобрений, что невозможно без надежной сырьевой базы. Для поддержания мощности производства на руднике 1 РУ ведутся горные работы по подготовке и отработке запасов I калийного горизонта. На I калийном горизонте отрабатывается верхний сильвинитовый пласт, который имеет сложное строение. Пласт состоит из трех маломощных слоев сильвинита, разделенных двумя слоями галита с высоким содержанием глины (рис.1). Для того, чтобы получить кондиционную руду, необходимо извлечь три слоя сильвинита, а два слоя галита извлечь и заскладировать в выработанное пространство. Эта задача была весьма сложной, поскольку мощности слоев незначительны. Однако в настоящее время эта задача решена, и немецкой фирмой DWT совместно с «ПО «Беларуськалий» разработано очистное оборудование и техно-

Пласты	Слой	Литология	Мощность, м	Химический состав, %				
				KCl	NaCl	MgCl ₂	H ₂ O	
Верхний сильвинитовый пласт	1	Сильвинит	1.14	3.37	97.02	0.08	6.92	
	2	Галит	0.21	4.13	81.5	0.12	5.34	
	3	Галопелиты	0.28	51.53	56.12	0.04	1.16	
	4	Сильвинит	0.478	8.56	78.04	0.16	2.69	
	5	Галит	0.615	19.68	16.33	0.08	2.67	
	6	Галопелиты	0.20	7.77	87.80	0.08	2.71	
Средний пласт галитовый	7	Галит	0.32	11.20	19.60	1.07	63.84	
	8	Галопелиты	0.34	41.1	54.4	0.13	2.99	
	9	Сильвинит	0.665	6.99	84.55	0.15	5.69	
	10	Галит	0.32	7.60	38.87	0.69	11.06	
Нижний сильвинитовый пласт	11	Сильвинит	0.515	3.37	80.27	0.24	11.40	
	12	Галит	0.17	2.92	68.37	0.35	17.28	
	13	Галопелиты	0.15	38.90	53.70	0.13	14.92	
	14	Сильвинит	0.735	1.47	95.75	0.07	6.04	
Пласт галитовый	15	Галит	0.35	7.60	1.08	0.93	20.44	
	16	Галопелиты	0.63	14.91	49.93	0.08	3.60	
			0.734	1.41	87.55	0.17	7.64	

Рис. 1. Геологическое строение I калийного горизонта: 1 – сильвинит; 2 – галит; 3 – галопелиты



Рис. 2. Разрушение пород почвы, сопровождающееся газовыделением

логия выемки этого пласта комбайном типа SL-500С с тремя шнеками, причем средний шнек является выдвижным. С помощью данного оборудования в 2004 году начата отработка выемочного столба лавы № 1 на I калийном горизонте рудника 1 РУ.

С момента вскрытия I калийного горизонта тремя квершлагами в 1989 году при ведении подготовительных горных работ до сентября 2004 года было зарегистрировано только одно газодинамическое явление (ГДЯ) в виде обрушения пород кровли, сопровождавшегося газовой выделением, которое произошло в забое главного вентиляционного штрека 05.05.1989 года. В 2004 году при проходке вентиляционного штрека лавы № 2 произошло три газодинамических явления из почвы горной выработки. На рис. 2 представлено ГДЯ в виде разрушения пород почвы, сопровождающегося газовой выделением, происшедшее 01.09.2004 года в месте разделки

сопряжения вентиляционного штрека лавы № 2 с технологической сбойкой комбайном ПК – 8МА. Еще одно ГДЯ в виде разрушения пород почвы, сопровождавшегося газовыделением, произошло между комбайном и бункером - перегружателем непосредственно в момент проходки вентиляционного штрека лавы № 2. Кроме этого, был отмечен случай запоздалого разрушения пород почвы, сопровождавшегося газовыделением, которое произошло примерно в 50 м позади проходческого комбайна ПК – 8МА. В январе 2005 года решением Проматомнадзора МЧС Республики Беларусь горноподготовительные работы в выемочном столбе лавы № 2 были остановлены до разработки, согласования и внедрения мероприятий по безопасной проходке подготовительных выработок на I калийном горизонте рудника 1 РУ.

Для разработки способов предотвращения ГДЯ в виде внезапных разрушений пород почвы, сопровождающихся газовыделениями, Горным институтом УрО РАН проводились исследования газоносности, компонентного состава свободного газа и газодинамических характеристик пород почвы горных выработок на I калийном горизонте рудника 1 РУ. Экспериментальные исследования проводились в исследовательской выработке № 3-4, специально пройденной в пределах выемочного столба лавы № 1, а также в вентиляционном штреке лавы № 2.

Результаты экспериментальных исследований показали, что геологический разрез I калийного горизонта характеризуется неравномерным распределением скоплений свободного газа. Так, при проведении экспериментальных наблюдений в исследовательской выработке № 3-4 скопления свободного газа были отмечены в нижнем сильвинитовом и среднем глинисто-галитовом пластах. В нижнем сильвинитовом пласте скопления свободного газа приурочены к глинистому прослойку мощностью 0,3 м, расположенному в слое 1–2. В среднем глинисто-галитовом пласте скопления свободного газа приурочены к глинистым прослойкам различной мощности. В верхнем сильвинитовом пласте и слое покровной каменной соли выделения свободного газа не отмечались. На рис. 3 представлены результаты исследований газоносности пород I калийного горизонта в скважине № 1, пробуренной в исследовательской выработке № 3-4. Аналогичные результаты были получены при проведении экспериментальных исследований газоносности пород почвы в вентиляционном штреке лавы № 2. Газоносность пород нижнего сильвинитового пласта изменялась от 0,15 м³/м³ до 4,26 м³/м³, а газоносность среднего глинисто-галитового пласта изменялась от 0,11 м³/м³ до 6,77 м³/м³.

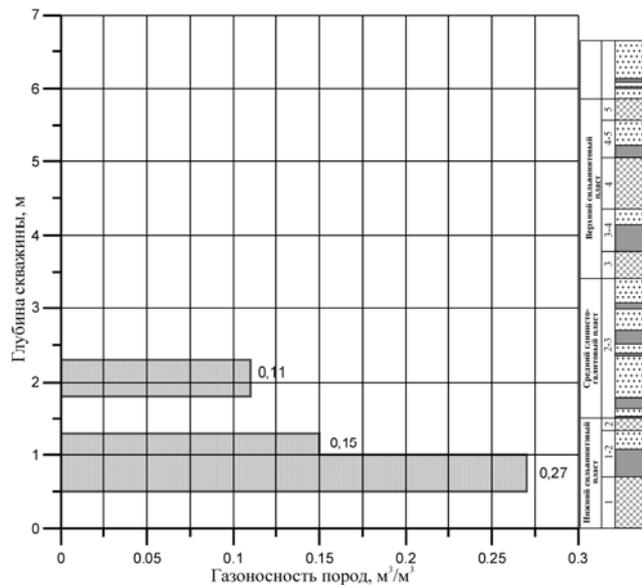


Рис. 3. Распределение газоносности пород в скважине № 1

Экспериментальные исследования начальной скорости газовыделения из пород почвы горных выработок проводились в исследовательской выработке № 3-4 и в вентиляционном штреке лавы № 2. Результаты исследований показали, что в пределах среднего глинисто-галитового пласта начальная скорость газовыделения изменя-

ется от 0,03 л/мин до 4,90 л/мин. В нижнем сильвинитовом пласте начальная скорость газовыделения изменяется в пределах от 0,05 л/мин до 2,13 л/мин.

Исследования газоносности и газодинамических характеристик пород почвы горных выработок на I калийном горизонте показали, что очагами газодинамических явлений в виде разрушений пород почвы, сопровождающихся газовыделениями, являются, по-видимому, приконтактные скопления свободного газа, которые приурочены к глинистым прослойкам и слоям в нижнем сильвинитовом и среднем глинисто-галитовом пластах.

Компонентный состав свободного газа, выделяющегося в шпуров и скважины из пород почвы горных выработок, представлен на рис. 4. Установлено, что в составе свободного газа присутствуют следующие компоненты: азот (N_2) – от 55,48% до 58,05%; метан (CH_4) – от 39,03% до 41,97%; этан (C_2H_6) – от 0,57% до 0,74%; пропан – от 0,55% до 0,76%; изобутан – от 0,14% до 0,17%; n-бутан – от 0,065% до 0,093%. Сумма углеводородных газов изменялась от 40,84% до 43,33%. Содержание двуокси углерода (CO_2) в составе свободных газов изменялось от 0,69% до 0,82%. Содержание гелия (He) изменялось от 0,28% до 0,50%. Водород в составе свободных газов не обнаружен. В составе свободных углеводородных газов наблюдается резкое преобладание метана над тяжелыми углеводородными газами. Содержание этана в составе свободных газов менее 1% и газ можно характеризовать как "сухой". Содержание тяжелых углеводородов в породах I калийного горизонта в 5-10 раз ниже, чем в породах II и III калийных горизонтов.

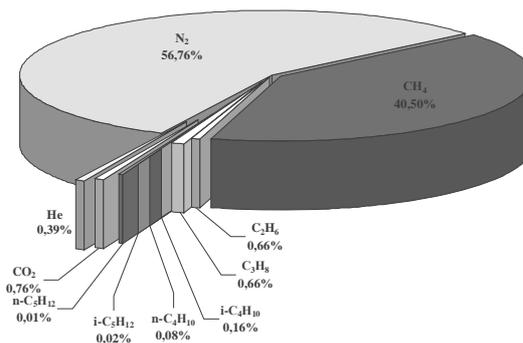


Рис. 4. Компонентный состав свободного газа

Результаты выполненных исследований позволили разработать мероприятия по безопасной проходке подготовительных выработок при подготовке выемочного столба лавы № 2 на I калийном горизонте рудника 1 РУ, которые сводятся к следующим положениям:

1. Подготовительные выработки лавы № 2 проходить с привязкой кровли на 0,2 м ниже V сильвинитового слоя.

При такой привязке подготовительных выработок забоем вскрываются приконтактные скопления свободного газа, приуроченные к глинистым прослойкам. Так, в среднем глинисто-галитовом пласте (2-3) забоем выработки будут вскрываться глинистые прослойки мощностью 6,5 см, 8,0 см, 3,0 см, 7,0 см 4,0 см и 4,0 см (суммарная мощность 32,5 см). В верхнем сильвинитовом пласте (слой 3-4) забоем выработки будут вскрываться глинистые прослойки мощностью 12,8 см и 10,2 см. В связи с тем, что проницаемость глинистых прослоек по напластованию в 100-1000 раз больше, чем поперек напластования свободные приконтактные газы будут выделяться в режиме фильтрации в призабойное пространство.

2. Для дегазации пород почвы подготовительных выработок должно применяться мелкошпуровое профилактическое бурение дегазационных шпуров. Бурение дегазационных шпуров проводится с целью снижения давления приконтактных свободных газов. По мере проходки выработок в почву бурятся шпуров глубиной не менее 1,2 м с шагом не более 2,5 м. Бурение дегазационных шпуров должно осуществляться буровыми установками проходческих комбайнов, расположенными на рас-

стоянии от забоя выработки не более 4,0 м, в режиме дистанционного управления включением и выключением буровой установки с рабочего места машиниста комбайна. Бурение шпуров в почву может производиться с любой стороны выработки.

Дегазационным шпуром в почву выработки глубиной 1,2 м вскрываются скопления свободного газа, приуроченные к глинистым прослойкам мощностью 3,0 см, 5,0 см, 16,0 см и 3,0 см в среднем глинисто-галитовом пласте (2-3), а также в нижнем сильвинитовом пласте (слой 1-2) вскрываются приконтактные скопления газа, приуроченные к глинистым прослойкам мощностью 1,0 см, 1,0 см и 32,0 см.

3. В местах, где ширина горных выработок составляет 4,5 м и более, в почву выработка производится бурение дегазационных шпуров глубиной 1,6 м с шагом не более 5,0 м. Профилактическое бурение дегазационных шпуров в почву производится до начала расширения выработки. Допускается производить бурение дегазационных шпуров глубиной 1.6 м через устья шпуров глубиной 1.2 м.

О.В. Иванов

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОПАСНЫХ ПО ГАЗОДИНАМИЧЕСКИМ ЯВЛЕНИЯМ ЗОН НА СИЛЬВИНИТОВЫХ ПЛАСТАХ ВЕРХНЕКАМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ

На Верхнекамском месторождении калийных солей ГДЯ происходят с начала его освоения. В 1934 году при отработке карналлитового пласта В зафиксировано первое ГДЯ. И по сей день на сильвинитовых пластах АБ и Красный-II происходят газодинамические явления в виде: внезапных выбросов соли и газа; обрушений пород кровли, сопровождающихся газовыделениями и явлений комбинированного типа. Так, на рисунке представлена схема одного из последних ГДЯ, произошедшего при отработке пласта АБ на II юго-восточной панели рудника БКПРУ-4 15 июня 2000 года.

Внедрение результатов научных исследований в практику ведения горных работ позволило уменьшить число газодинамических явлений в калийных рудниках. Тем не менее газодинамические явления на месторождении продолжают происходить и для повышения безопасности ведения горных работ требуется дальнейшее совершенствование существующих и разработка новых методов прогноза зон, опасных по ГДЯ.

Современный уровень развития вычислительной техники и программного обеспечения позволяет за короткие сроки на основе пространственно ориентированных баз данных получать достаточно достоверные геостатистические модели шахтных полей, проводить многовариантные расчеты математических моделей с использованием

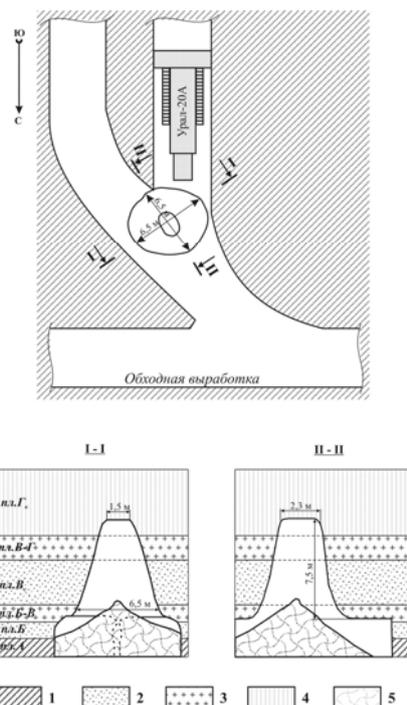


Рис. Схема газодинамического явления на II ЮВП БКПРУ-4:
1 – полосчатый сильвинит; 2 – пестрый сильвинит; 3 – каменная соль; 4 – карналлит; 5 – обрушенные породы

различных статистических процедур. Применение накопленного опыта построения математических моделей методов прогноза газодинамических явлений и современного программно-технического аппарата позволит получить наиболее адекватные математические модели прогноза зон, опасных по газодинамическим явлениям.

Целью исследований являлась разработка надежных методик регионального и локального прогноза зон, опасных по газодинамическим явлениям, для безопасной эксплуатации Верхнекамского месторождения калийных солей.

В задачи исследований входило: оценить количественными методами закономерности распределения газодинамических явлений на Верхнекамском месторождении калийных солей; разработать математическую модель прогнозирования опасных по газодинамическим явлениям зон для сильвинитовых пластов Верхнекамского месторождения; построить прогнозные карты зон, опасных по газодинамическим явлениям на шахтных полях Верхнекамского месторождения калийных солей.

Исходя из поставленной цели, на основе комплекса горно-геологических параметров определить к опасной или неопасной зоне по газодинамическим явлениям относится какой-то конкретный участок шахтного поля или месторождения, математической моделью будет решающее правило, при подстановке значений в которое можно будет с максимально возможной вероятностью дать оценку рассматриваемому участку.

В математической постановке получение решающего правила сводится к определению конечного набора горно-геологических параметров, их интервалов значений, присущих как опасным, так и неопасным по ГДЯ зонам, а также нахождение наиболее эффективных, с точки зрения вероятности, статистических процедур.

В настоящей работе линейные дискриминантные функции решающих правил определяются с использованием классических процедур и робастных: по весовым оценкам Хьюбера и усеченным оценкам. Критерием отбора из полученных разными процедурами решающего правила служил максимальный процент правильной классификации.

В целом параметрическая математическая модель метода прогнозирования зон, опасных по ГДЯ, основанная на дискриминантном анализе, является мощным статистическим методом и по глубине анализа данных и ценности получаемых результатов относится к самым эффективным методам статистического анализа. Модель отличается достаточной простотой, лаконичностью, хорошей интерпретируемостью, удобна для рассмотрения геометрических иллюстраций разделения областей массива на опасные и неопасные по ГДЯ зоны. Параметрическая модель метода прогнозирования позволяет производить отбор наиболее информативных показателей, что дает возможность снизить размерность исходного пространства признаков, отбросить неинформативные и малоинформативные переменные. В случае соблюдения условий нормальности распределения многомерных данных и равенства ковариационных матриц параметрическая модель приводит к оптимальным результатам при прогнозировании. При невыполнении указанных ограничений применение в модели робастных оценок позволяет компенсировать рост вероятности ошибочного прогноза. В общем, при решении прикладных задач прогнозирования зон, опасных по ГДЯ, параметрическая математическая модель, основанная на линейном дискриминантном анализе, является наиболее предпочтительной среди других известных параметрических моделей.

Исследования закономерностей распределения газодинамических явлений на шахтных полях рудников показывают, что ГДЯ сгруппированы в пределах отдельных участков. С точки зрения физико-геологического механизма образования

очагов ГДЯ можно предположить, что очаги ГДЯ могли образоваться при сочетании определенных горно-геологических условий.

В общую выборку данных по горно-геологическим параметрам вошли результаты подземных геологоразведочных работ, предоставленные геологическими службами рудников БКПРУ-1, БКПРУ-2 и БКПРУ-4, а также данные о строении и химическом составе пород продуктивных пластов по результатам детальной разведки. Общая выборка включает в себя в зависимости от пласта до 1690 записей, как по поверхностным, так и по подземным скважинам, а также точкам бурового опробования. По каждому пласту представлены следующие показатели: номер скважины, абсолютная отметка залегания кровли пласта, мощность пласта, процентное содержание в пласте KCl, NaCl, MgCl₂, CaSO₄, Br, Cl, нерастворимого остатка и H₂O.

Формирование обучающей выборки проводилось следующим образом. Главным условием отнесения точки наблюдения из общей выборки к опасной или неопасной по ГДЯ зоне являлось максимальное соответствие горно-геологических условий в рассматриваемой точке условиям в местах проявления ГДЯ. Всего наблюдений 779, из них отнесенных к неопасным по ГДЯ (1 группа) – 405, к опасным по ГДЯ (2 группа) – 374.

Полученную обучающую выборку подвергли линейному дискриминантному анализу с использованием трех статистических процедур: с классическими оценками, весовыми оценками Хьюбера и усеченными оценками с уровнем усечения 0,1. Использование любого из трех методов распознавания образов результаты классификации достаточно значимы и ее правильность превышает 70%, что говорит о высокой достоверности группировании исходных данных. Наиболее высокое значение правильности классификации получено при использовании робастной процедуры линейного дискриминантного анализа с весовыми оценками Хьюбера. Это объясняется отклонением распределения параметров от нормального и засоренностью выборки исходных данных "тяжелыми хвостами". Поэтому для дальнейшего исследования принято решающее правило, полученное с использованием весовых оценок Хьюбера.

Для проверки полученного решающего правила использовалась следующая процедура. В каждой точке наблюдения в решающее правило подставляются имеющиеся значения параметров и при получении отрицательного значения точка относится к неопасной по ГДЯ зоне, при положительном – к опасной. Затем проводится процедура повторной классификации, при этом уточняются коэффициенты линейных дискриминантных функций для каждой группы и проверяется правильность группирования. Повторная классификация после перегруппирования исходных данных с использованием весовых оценок Хьюбера показала, что для пласта Кр.П 96,15% перегруппированных наблюдений классифицировано правильно; для пласта АБ сильвинитового состава – 96%; смешанного состава – 93,4%.

Таким образом, решающие правила для отнесения участков шахтных полей к зонам, опасным по ГДЯ, имеют следующий вид для пластов:

– Кр.П

$$F_p = -14,11 \times X_1 + 21,75 \times X_2 + 23,44 \times X_3 + 21,73 \times X_4 - 289,2 \times X_5 + 4,1 \times X_6 + 17,73 \times X_7 - 2034,33 \geq 0,$$

– АБ сильвинитового состава

$$F_p = -19,98 \times X_1 - 1,16 \times X_2 + 31,18 \times X_3 - 3,64 \times X_4 - 747,02 \times X_5 + 6,87 \times X_6 - 4,57 \times X_7 + 310,72 \geq 0,$$

– АБ смешанного состава

$$F_p = -1,39 \times X_1 + 0,06 \times X_2 - 0,66 \times X_3 - 0,05 \times X_4 - 40,24 \times X_5 - 1,46 \times X_6 - 1,3 \times X_7 + 23,73 \geq 0,$$

- где X_1 – мощность пласта, м;
 X_2 – содержание KCl в породах пласта, %;
 X_3 – содержание MgCl₂ в пласте, %;
 X_4 – содержание NaCl в пласте, %;
 X_5 – содержание Br в пласте, %;
 X_6 – содержание CaSO₄ в пласте, %;
 X_7 – содержание нерастворимого остатка в пласте, %.

На основании подстановки численных значений в полученные решающие правила составлены прогнозные карты зон, опасных по ГДЯ, для пластов Кр.II и АБ южной части Верхнекамского месторождения калийных солей.

Прогнозные карты зон, опасных по ГДЯ, наглядно демонстрируют адекватность решающих правил практике ведения горных работ. Это свидетельствует о работоспособности метода прогноза зон, опасных по ГДЯ.

С. Ю. Нестерова

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ДЕГАЗАЦИОННО-РАЗГРУЗОЧНОЙ ЩЕЛИ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ГДЯ ПРИ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ ВЫЕМКЕ КАРНАЛЛИТОВОГО ПЛАСТА В

Практика ведения горных работ при механизированное выемке карналлитового пласта В в условиях рудника СКПРУ-1 ОАО «Сильвинит» показывает что, несмотря на профилактические мероприятия, применяемые в настоящее время для дегазации верхнего выемочного слоя, по-прежнему имеют место вывалы, осыпания боковых пород и газодинамические явления из стенок горных выработок. Подобные явления возникают под действием сил газового и горного давления, а также при динамическом воздействии взрывных работ и своими последствиями способны нанести предприятию значительный материальный ущерб.

Для повышения эффективности и безопасности ведения горных работ при механизированной добыче карналлитовой руды на руднике СКПРУ-1 ОАО «Сильвинит» проведены исследования принципиально нового безвзрывного способа дегазации стенок при проходке выработок путем создания в стенке разрезной выработки дегазационно-разгрузочной щели (ДРЩ), способствующей дегазации и разгрузке приконтурной части массива.

Предварительно, в выбранной для проведения исследований очистной камере №89 7ВП была пройдена сквозная (разрезная) исследовательская выработка, проходка которой осуществлялась в соответствии со специальным проектом, предусматривающим только передовую дегазацию забоя методом торпедирования [1].

Далее, до начала прорезки щели на опытном участке выработки длиной 100 м со стороны нетронутого массива на отметках по длине 25 м, 50 м и 75 м были оборудованы три замерные станции для исследования в зоне влияния

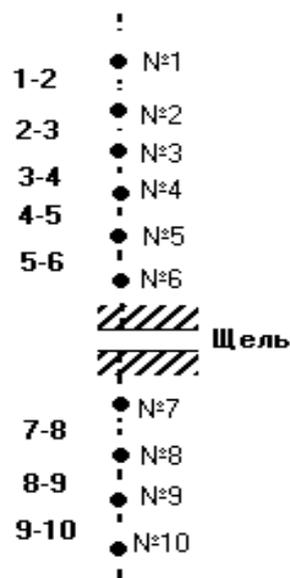


Рис.1. Схема расположения контурных реперов

щели процессов деформации пород приконтурного массива и конвергенции кровли и почвы щели (рис.1).

Затем с соблюдением мер безопасности в стенке исследовательской выработки была прорезана дегазационно-разгрузочная щель с использованием имеющейся на руднике машины для нарезки компенсационных щелей "Урал-50" [2]. При этом средняя скорость прорезки щели составила 0,14 м/мин.

В таблице приведены фактические параметры созданной в стенке выработки щели, которые отличаются от проектных высоты щели (140 мм) и ее глубины (1200 мм), обеспечиваемых техническими данными щеленарезной машины "Урал-50".

Таблица

Параметры щели

Отметка по длине, м	Дата замеров	Глубина, щели, мм	Высота щели на контуре выработки, мм	Высота щели на глубине, мм
25	04.12.04	1155	133,2	120,6
40	04.12.04	1180	137,0	121,1
50	04.12.04	1190	134,1	117,2
60	04.12.04	1180	138,9	114,1
75	10.12.04	1220	140,9	118,9
90	10.12.04	1260	136,1	108,0

В ходе исследований ДРЩ после ее создания на опытном участке выработки регулярно велись наблюдения за изменением газоносности, величины воздухопоглощения, а также за процессом деформации пород приконтурного массива и конвергенцией щели [3-5].

На основе анализа данных, полученных в ходе экспериментальных исследований безвзрывного способа дегазации карналлитового пласта В с целью повышения эффективности и безопасности ведения горных работ при механизированной добыче карналлитовой руды, можно сделать следующие выводы:

1. Результатами инструментальных наблюдений за деформациями пород над и под дегазационно-разгрузочной щелью установлено развитие в приконтурном массиве деформаций растяжения. Деформации растяжения приводят к раскрытию природных и созданию в массиве новых путей фильтрации газа и последующей дегазации массива в зоне влияния щели. Для карналлитовой породы пласта В характерна развитая трещиноватость и, несомненно, что возникновение растягивающих усилий в породах над и под щелью будет сопровождаться дальнейшим раскрытием всех типов трещин в карналлитовой породе, что в конечном итоге приведет к дегазации пород в зоне влияния дегазационно-разгрузочной щели.

2. Установлено, что до прорезки дегазационно-разгрузочной щели газоносность пород 6-го слоя карналлитового пласта В в районе 89-й очистной камеры на глубине до 1,5 м рассчитанное среднее значение газоносности карналлитовых пород в данном районе составляет 0,82 м³/м³, при этом средняя величина газоносности в пересчете на условный метан до прорезки ДРЩ составила 0,91 м³/м³.

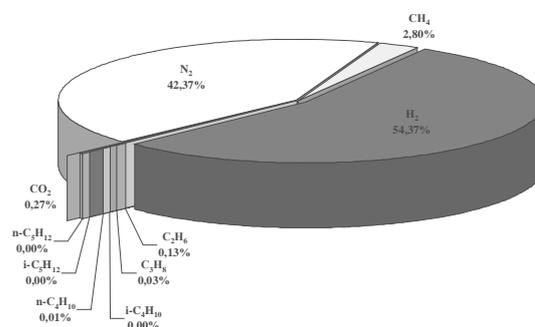


Рис. 2. Диаграмма компонентного состава свободного газа в породах карналлитового пласта В

Диаграмма компонентного состава свободных газов в приконтурном массиве очистной камеры №89 представлена на рис. 2.

3. Через 7-10 дней после окончания проходки дегазационно-разгрузочной щели остаточная газоносность пород в стенке разрезной выработки над и под щелью на глубине до 1,5 м не превышает $0,02 \text{ м}^3/\text{м}^3$, а газоносность по условному метану также составляет $0,02 \text{ м}^3/\text{м}^3$. Таким образом, газоносность пород в зоне влияния разгрузочно-дегазационной щели снизилась с $0,82 \text{ м}^3/\text{м}^3$ до $0,02 \text{ м}^3/\text{м}^3$, т.е. практически в 40 раз.

4. В результате замеров и расчетов значений показателя воздухопоглощения пород карналлитового пласта В установлено, что соотношение средних показателей воздухопоглощения до и спустя 10 суток после прорезки щели составляет 3,43, что более чем в два раза выше критического, равного 1,5.

Таким образом, проведение дегазационно-разгрузочной щели является весьма эффективным способом дегазации.

На основе выполненных исследований будут разработаны технологические схемы с использованием различных параметров способа предотвращения газодинамических явлений с помощью дегазационно-разгрузочной щели при механизированной выемке карналлитового пласта В в условиях рудника СКПРУ-1 ОАО «Сильвинит».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методика проведения исследований эффективности применения дегазационно-разгрузочной щели в стенке горной выработки при механизированной выемке карналлитового пласта в условиях рудника СКПРУ-1 ОАО «Сильвинит»: Отчет о НИР / Горный институт УрО РАН; Рук. С.С.Андрейко. – Пермь, 2004. – 29 с.

2. Указания по безопасной механизированной отработке карналлитового пласта В и пластов смешанного состава на рудниках ОАО «Сильвинит»: Утв. Гл.инж. ОАО "Сильвинит" 31.05.02: Согл. Нач. упр. Западно-Уральского округа Госгортехнадзора России 30.07.02. – Пермь-Соликамск, 2002. – 47 с.

3. Красюк Н.Ф. Исследование газоносности соляных пород и ее роли во внезапных выбросах: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. –Л., 1975. –19 с.

4. Полянина Г.Д., Земсков А.Н. Экспериментальные исследования распределения газа в приконтурном массиве при разработке калийного пласта // Разработка соляных месторождений. –Пермь, 1977. С.120-123.

5. Изучение газоносности пластов В и Г в руднике СКРУ-1, оценка эффективности профилактической обработки пласта В методом торпедирования и мероприятий по его безопасной механизированной выемки в различных горно-геологических условиях: Отчет о НИР / Горный институт УрО РАН; Рук. С.С.Андрейко. – Пермь, 2002. – 60 с.

ТРЕХМЕРНЫЙ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ДЕГАЗАЦИОННО-РАЗГРУЗОЧНОЙ ЩЕЛИ НА СОСТОЯНИЕ ПРИКОНТУРНОГО МАССИВА

Для повышения эффективности и безопасности ведения горных работ при механизированной добыче карналлитовой руды на руднике СКПРУ-1 ОАО «Сильвинит» проведены исследования принципиально нового безвзрывного способа дегазации стенок при проходке выработок путем создания в стенке горной выработки дегазационно-разгрузочной щели (машинного вруба), способствующей дегазации и разгрузке приконтурной части массива.

Трехмерный геомеханический анализ влияния дегазационно-разгрузочной щели в стенке выработки на состояние приконтурного массива проводился на основе метода граничных элементов (метод фиктивных нагрузок) в линейно-упругой постановке, который позволяет снизить размерность решаемой задачи на единицу и требует минимальных затрат времени на задание геометрии и граничных условий.

В соответствии с геологическим строением участка принималась следующая расчетная схема. Упругое пространство с упругими свойствами карналлита ($E=0,92$ ГПа, $\nu=0,3$) содержит междупластья Б-В, В-Г с упругими свойствами каменной соли ($E=2,33$ ГПа, $\nu=0,3$) и карналлитовый пласт В ($E=0,92$ ГПа, $\nu=0,3$). В кровле выработки расположен пласт каменной соли В-Г. Контур выработки соответствует выработке, пройденной комбайном Урал-10, высотой 2,6 м и шириной 4,3 м (рис.13). Длина выработки составляет 100 м. Расчеты проводились для щелей глубиной 1,2 м, 2,2 м и 3,2 м.

Глубина ведения горных работ составляет 315 м. Средний удельный вес пород – $2 \cdot 10^4$ Н /м³. Коэффициент бокового распора рассчитывался по Диннику и составляет 0,42. При анализе запредельного состояния горных пород принимались следующие пределы прочности на одноосное сжатие и растяжение: карналлит – 6,88 МПа и 0,61 МПа; каменная соль – 26,14 МПа и 1,46 МПа.

Напряженно-деформированное состояние, реализующееся в результате проведения дегазационно-разгрузочной щели, характеризуется плоской деформацией. Однако в момент проведения щели массив в окрестности забоя щели находится в сложном объемном напряженно-деформированном состоянии, в результате которого могут реализоваться дополнительные области трещиноватости. Таким образом, в результате проведения щели область массива, в которой были реализованы предельные условия деформирования, представляет собой объединение двух областей, которые образуются в момент проведения щели вблизи забоя и после проведения щели. В связи с этим были проведены трехмерные геомеханические расчеты по оценке напряженно-деформированного состояния массива также в окрестности забоя дегазационно-разгрузочной щели.

На рис.1,2 показаны зоны запредельного деформирования массива в окрестности дегазационно-разгрузочной щели глубиной 3,2 м в условиях плоской деформации и в условиях объемного напряженного состояния в окрестности забоя щели.

Трехмерное математическое моделирование напряженно-деформированного состояния горного массива, выполненное с целью оценки эффективности дегазационно-разгрузочной щели в стенке выработки, позволяет сделать следующие выводы:

1. Установлено, что проведение дегазационно-разгрузочной щели разгружает подработанный и надработанный щелью массив от вертикальных напряжений на всю глубину щели, а также создает условия для роста субвертикальных трещин и процессов разрушения и расслоения карналлитовых пород по глинистым прослойкам и другим естественным поверхностям ослабления в окрестности щели.

2. Зона влияния дегазационно-разгрузочной щели глубиной 1,2 м распространяется на всю глубину щели и охватывает надработанный и подработанный щелью массив от уровня почвы выработки вверх до 2,0 м.

3. Зона влияния для щели глубиной 2,2 м и 3,2 м, как показывают результаты анализа областей запредельного деформирования пород вокруг выработки, распространяется на всю глубину щели и охватывает надработанный и подработанный щелью массив на всю высоту хода комбайна (2,6 м), а также породы почвы и кровли выработки.

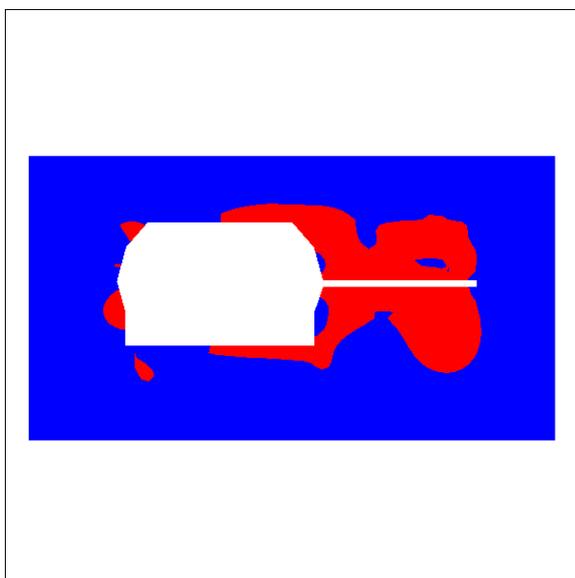


Рис. 1. Области запредельного состояния массива в окрестности щели глубиной 3,2 м

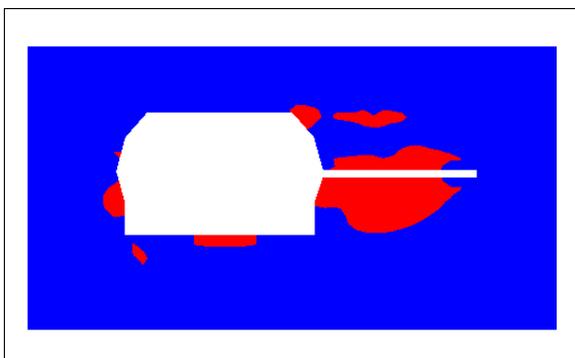


Рис. 2. Области запредельного состояния массива в сечении, проходящем через забой щели глубиной 3,2 м

РАСЧЁТ ПРОВЕТРИВАНИЯ ТУПИКОВОЙ ВЫРАБОТКИ
КОМБИНИРОВАННЫМ СПОСОБОМ
С РЕВЕРСИРОВАНИЕМ ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ СТРУИ

Во время доставки отбитой горной массы из забоя тупиковой выработки погрузочно-доставочной машиной (ПДМ) с двигателем внутреннего сгорания (ДВС) наиболее неблагоприятная санитарно-гигиеническая обстановка создаётся при движении машины по ходу вентиляционной струи. При каждом торможении и следующем за ним разгоне ПДМ некоторое время движется в облаке отработавших газов (ОГ) с высоким содержанием вредных компонентов. Концентрация вредных примесей в зоне дыхания машиниста в это время в десятки раз превышает ПДК.

Использование комбинированного способа с реверсированием вентиляционной струи позволяет исключить однонаправленное движение воздушного потока машины и существенно улучшить за счёт этого санитарно-гигиенические условия труда в тупиковой выработке.

Сущность комбинированного способа с реверсированием вентиляционной струи заключается в периодическом отключении всасывающего вентилятора, что позволяет изменять направление движения воздуха в проветриваемой выработке на противоположное. При работе обоих вентиляторов (нагнетательного и всасывающего) выработка проветривается по комбинированной схеме, воздух движется в направлении забоя. При отключенном всасывающем вентиляторе проветривание выработки осуществляется по нагнетательной схеме, воздух движется от забоя к устью.

Возможны два варианта проветривания с реверсированием вентиляционной струи:

1. Всасывающий вентилятор отключается на время пребывания машины за пределами тупиковой выработки и движения её от устья выработки до забоя;
2. Всасывающий вентилятор отключается только на время движения порожней машины от устья выработки до забоя.

Применяться должен тот вариант, при котором больше расстояние ΔL , на которое смещается загрязнённый воздух в сторону устья выработки или забоя в течение одного рейса машины.

При первом варианте:

$$\Delta L = U_n \cdot (T_o + L/V) - U_k \cdot (T_n + L/V). \quad (1)$$

При втором варианте:

$$\Delta L = U_k \cdot (T_n + T_o + C/V) - U_n \cdot L/V, \quad (2)$$

где U_n и U_k – скорость вентиляционной струи в выработке при отключенном и работающем всасывающем вентиляторе, м/с; V – средняя скорость движения машины по выработке, м/с; T_o – время пребывания машины за пределами тупиковой выработки (время отсутствия), с; T_n – время погрузки машины, с; L – длина тупиковой выработки за вычетом расстояния от груды забоя до вентиляционных трубопроводов, м.

Общий расход воздуха для проветривания тупиковой выработки:

$$Q_o = Q_z + Q_b, \quad (3)$$

где Q_3 и Q_B – расходы воздуха, требуемые для снижения до ПДК вредных компонентов ОГ, выделяемых машиной в забое при погрузке и во время движения по выработке, $\text{м}^3/\text{с}$.

При проветривании забоя свободной турбулентной струей, выходящей из нагнетательного трубопровода, Q_3 можно рассчитать по формуле (1).

$$Q_3 = Q_{\text{ст}}/k, \quad (4)$$

где $Q_{\text{ст}}$ – количество воздуха, необходимого для статического разбавления выделяемых машиной вредных примесей до ПДК, $\text{м}^3/\text{с}$; k – коэффициент турбулентной диффузии свободной струи.

$$Q_{\text{ст}} = F_0 c_0 / (c_d - c_n), \quad (5)$$

где F_0 и c_0 – интенсивность выделения ОГ и содержание в них вредных компонентов в перерасчёте на условный оксид углерода, $\text{м}^3/\text{с}$ и %; c_d – допустимое содержание оксида углерода, %; c_n – содержание вредных примесей в перерасчёте на условный оксид углерода в свежем воздухе, подаваемом для проветривания, %.

При отсутствии данных об интенсивности выделения ОГ и содержании в них вредных компонентов значение $Q_{\text{ст}}$ можно рассчитать по мощности двигателя ПДМ:

$$Q_{\text{ст}} = bN/60, \quad (6)$$

где b – норма подачи воздуха на единицу мощности двигателя, $\text{м}^3/\text{мин}/\text{кВт}$, для дизельных двигателей $b = 6,8 \text{ м}^3/\text{мин}/\text{кВт}$; N – мощность двигателя ПДМ, кВт.

Особенностью газовой динамики основного участка выработки является то, что ПДМ, совершая челночное движение по нему со скоростью, превышающей скорость вентиляционной струи, неоднократно загрязняет одни и те же объёмы воздуха. Происходит так называемое наложение концентраций. Число наложений тем больше, чем больше разность между скоростью движения машины и скоростью вентиляционной струи. По мере перемещения загрязнённого воздуха по выработке содержания в нём вредных примесей растёт.

Максимальное значение концентрации вредных компонентов ОГ в выработке:

$$c_{\text{max}} = c_n + c_{\text{исх}} + m c_{\text{пор}} + n c_{\text{гр}}, \quad (7)$$

где m и n – число концентраций, накладываемых на один и тот же объём воздуха при движении порожней и гружёной машины, соответственно; $c_{\text{пор}}$ и $c_{\text{гр}}$ – величина концентрации, накладываемой на воздушный поток при движении порожней и гружёной машины; $c_{\text{исх}}$ – значение концентрации вредных компонентов ОГ в исходящем из забоя воздухе после отключения всасывающего вентилятора

$$c_{\text{пор}} = F_{\text{ог}} c_{\text{ог}} / S(V + U_n), \quad (8)$$

$$c_{\text{гр}} = F_{\text{ог}} c_{\text{ог}} / S(V + U_k), \quad (9)$$

где S – площадь поперечного сечения выработки, м^2 .

На основании анализа газоаналитических процессов, происходящих в выработке при работе в ней погрузочно-доставочной машины с ДВС, получены следующие аналитические зависимости для определения числа концентраций, накладываемых на одни и те же объёмы воздуха при движении порожней машины:

для первого варианта реверсивного проветривания:

$$m \geq 1 + (L - U_n T_0) / \Delta L, \quad (10)$$

для второго варианта:

$$m \geq 1 + (L - U_k (T_n + T_0 + L/V)) / \Delta L. \quad (11)$$

Дробный результат расчёта по формулам (10) и (11) должен округляться до ближайшего большего числа, так как число наложений может быть только целым числом.

Число наложений концентраций $c_{\text{гр}}$ (n) принимается равным:

для первого варианта реверсивного проветривания

$$\begin{aligned} \text{при } U_n \cdot (T_o + L/V) + (m-2) \cdot \Delta L < L & \quad n=m, \\ \text{при } U_n \cdot (T_o + L/V) + (m-2) \cdot \Delta L \geq L & \quad n=m-1; \end{aligned}$$

для второго варианта

$$\begin{aligned} \text{при } U_k T_n + (m-1) \cdot \Delta L < L & \quad n=m, \\ \text{при } U_k T_n + (m-1) \cdot \Delta L \geq L & \quad n=m-1, \end{aligned}$$

Приведённые выше зависимости определяют число наложений концентраций $c_{\text{пор}}$ и $c_{\text{гр}}$ на поток свежего воздуха, поступающего в тупиковую выработку через её устье.

При проветривании с реверсированием вентиляционной струи концентраций $c_{\text{пор}}$ и $c_{\text{гр}}$ накладываются также на исходящий из забоя загрязненный воздух. Однако эти наложения не являются определяющими при расчёте расходов воздуха на проветривание. Во-первых, потому что их число всегда меньше числа наложений на поток свежего воздуха. Во-вторых, потому что максимальное значение исходящей из забоя концентрации, на которую накладываются концентрации $c_{\text{пор}}$ и $c_{\text{гр}}$, составляет всего несколько процентов от c_d .

Из выражений (1), (2), (8)-(11) следует, что для того, чтобы общий расход воздуха на проветривание был минимальным, при первом варианте реверсирования скорость движения воздуха при работающем всасывающем вентиляторе должна приниматься равной минимально допустимой по ПБ скорости вентиляционной струи U_{min} ; при втором варианте – количество воздуха, подаваемого в забой по нагнетательному трубопроводу, не должно превышать величины, определяемой из выражения (4).

Исходя из выше изложенного, предлагается следующая методика расчёта производительности нагнетательного и всасывающего вентиляторов для проветривания тупиковой выработки при работе в ней погрузочно-доставочной машины с ДВС:

1. Определяется расстояние от груды забоя до нагнетательного трубопровода, обеспечивающее наибольшую работоспособность свободной турбулентной струи. Расчёт ведётся по формуле (1).

$$L_r = 0,5 \sqrt{S \cdot (1 + 0,5/a)},$$

где a – коэффициент структуры свободной турбулентной струи, равный 0,06-0,08.

2. Задавшись диаметром нагнетательного и всасывающего трубопровода в соответствии с рекомендациями, приводимыми в специальной литературе, находят значение коэффициента турбулентной диффузии свободной струи, коэффициента утечек воздуха в нагнетательном трубопроводе P_n и коэффициента подсоса воздуха во всасывающем трубопроводе P_v .

3. По одной из зависимостей (5) или (6) определяется количество воздуха $Q_{\text{ст}}$, необходимого для статического разбавления до ПДК выделяемых двигателем машины вредных примесей.

4. По формуле (4) рассчитывается минимально допустимое значение расхода воздуха Q_3 , который должен поступать в забой по нагнетательному трубопроводу.

5. Определяется значение скорости вентиляционной струи в выработке при минимально допустимом значении Q_3 .

$$U_n = (1 + P_n) \cdot Q_3 / 2S$$

6. По формулам (1) и (2) рассчитываются значения ΔL для первого и второго вариантов реверсивного проветривания. Расчёт ведётся при $U_k = U_{\text{min}}$

7. По большему значению ΔL выбирается вариант реверсивного проветривания и в соответствии с рекомендациями, приведёнными выше, находится число наложений m и n .

8. Определяется максимальная концентрация вредных примесей в выработке при минимально допустимых значениях Q_3 и U_k . Расчёт ведётся по формуле:

$$c_{\max} = c_n + Q_{\text{ст}}(c_d - c_n) / (m/(V+U_n) + n/(V+U_k)). \quad (12)$$

Если полученное значение c_{\max} не превышает ПДК, окончательно принимается рассчитанное по формуле (4) значение Q_3 и определяется производительность нагнетательного и всасывающего вентиляторов:

$$Q_{\text{нв}} = p_n Q_3 \quad (13)$$

$$Q_{\text{вв}} = p_v (Q_3 + U_{\min} S) \quad (14)$$

Если полученное значение c_{\max} превышает ПДК ($c_{\max} > c_d$), расчёт $Q_{\text{нв}}$ и $Q_{\text{вв}}$ производится следующим образом.

При первом варианте

10. Рассчитывается значение коэффициентов a_1 , b_1 и d_1 по формулам:

$$a_1 = S/Q_{\text{ст}} \cdot (V+U_{\min})T_n - L/V$$

$$b_1 = S/Q_{\text{ст}} \cdot (V+U_{\min})(VT_n - U_{\min}T_k) - (2V+U_{\min}) \cdot L/V - L + U_{\min}T_k,$$

$$d_1 = S/Q_{\text{ст}} \cdot VU_{\min}T_k \cdot (V+U_{\min}) + (2V+U_{\min}) \cdot (L - U_{\min}T_k),$$

где T_n и T_k – время проветривания в течение одного цикла по нагнетательной и комбинированной схеме, соответственно.

$$T_n = T_o + L/V$$

11. Определяется, какой должна быть скорость вентиляционной струи в выработке при отключенном всасывающем вентиляторе, чтобы максимальная концентрация не превышала допустимую

$$U_n = (\sqrt{(b_1^2 - 4a_1d_1)} - b_1) / 2a_1$$

12. Находится количество воздуха, которое должно подаваться в забой по нагнетательному трубопроводу

$$Q_3 = 2U_n S / (1 + p_n)$$

13. По формулам (13) и (14) определяется производительность нагнетательного и всасывающего вентиляторов.

При втором варианте

10. Рассчитывается значение коэффициентов a_2 , b_2 и d_2 по формулам:

$$a_2 = S/Q_{\text{ст}} \cdot T_k (V+U_n)$$

$$b_2 = S/Q_{\text{ст}} \cdot (VT_k - U_n T_n)(V+U_n) - L(1 - U_n/V),$$

$$d_2 = S/Q_{\text{ст}} \cdot U_n T_n V \cdot (V+U_n) + L(1 - U_n/V) (2V+U_n),$$

$$T_k = T_n + T_o + L/V$$

11. Определяется, какой должна быть скорость вентиляционной струи при работающем всасывающем вентиляторе

$$U_k = \sqrt{(b_2^2 - 4a_2d_2)} / 2a_2$$

12. Рассчитывается производительность нагнетательного и всасывающего вентиляторов.

Расчёт производительности нагнетательного вентилятора ведётся по формуле (13), всасывающего – по формуле $Q_{\text{вв}} = p_v \cdot (Q_3 + U_k S)$

Значение Q_3 берётся из пункта 3.

Приведённые в настоящей статье материалы могут быть использованы для расчёта оптимальных режимов работы вентиляционного оборудования во время доставки отбитой горной массы из тупиковой выработки погрузочно-доставочной машиной с ДВС.

ИНФОРМАЦИЯ

М.Ю. Нестеренко

О СЕЙСМОСТАНЦИИ «ОРЕНБУРГ»

27 октября 2004 г. начала функционировать сейсмостанция «Оренбург», расположенная на полигоне МЧС в районе с. Дедуровка. Выбор места размещения сейсмостанции производился на основе пробных запусков датчиков в ряде районов Оренбургской области и анализа расположения нефтегазоконденсатных месторождений. Сейсмостанция расположена в зоне интенсивной добычи газа и нефти над Оренбургским нефтегазоконденсатным месторождением (ОНГКМ) (рис.1).



Рис. 1. Схема расположения сейсмостанции «Оренбург»

Сейсмостанцией регистрируются телесеismicкие, региональные и локальные события. С 8.12 по 31.12.04 г. на сейсмостанции зарегистрированы 119 событий с магнитудой 4.5 МВ и выше по всему миру.

События телесеismicкого уровня, для которых расстояние до эпицентра превышает 1000 км, характеризуются сложной волновой структурой, имеют продолжительную запись и длинные периоды seismicческих волн. По спектральному составу преобладают частоты около 1 Гц. Примерами таких событий, зарегистрированных на сейсмостанции «Оренбург» являются землетрясение на о. Хокайдо, произошедшее 28.11.04 г., землетрясение на о. Суматра, произошедшее 26.12.04 г.

Особый интерес представляет возможность регистрации сейсмостанцией событий регионального и локального характера. Событие, зарегист-

рированное 27.11.04 г., предположительно является карьерным взрывом в районе г. Гая (рис. 2).

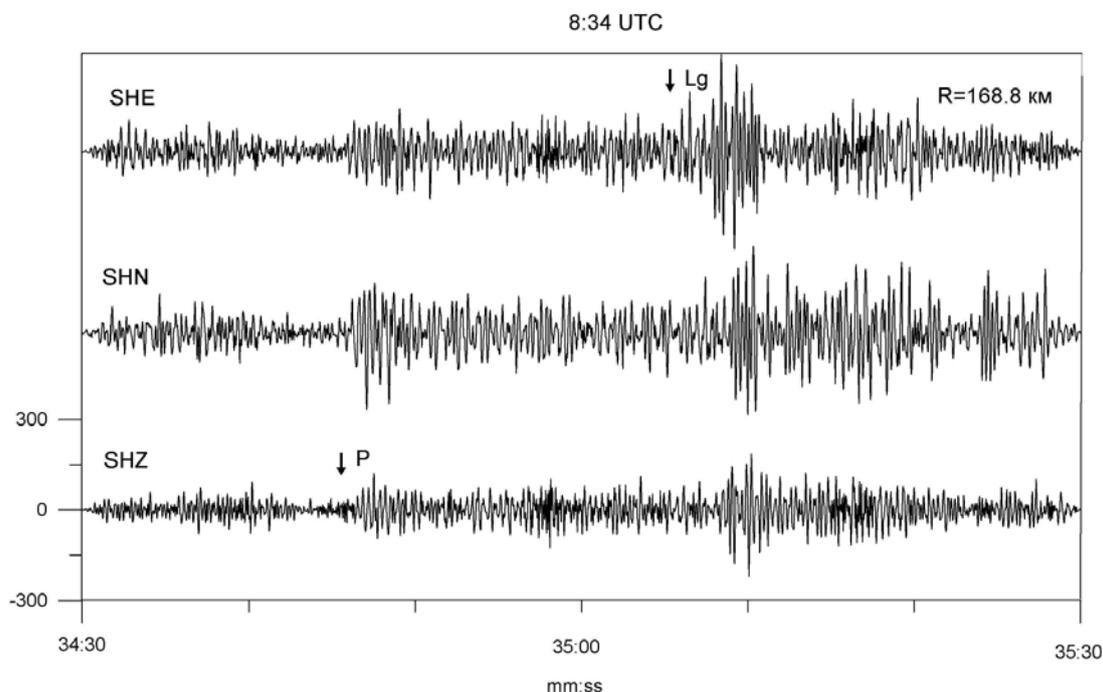


Рис. 2. Сейсмограмма регионального события

Для распознавания техногенных взрывов собирается статистическая информация о взрывах на предприятиях области. Волновое поле региональных событий содержит в своем спектральном составе более высокочастотные составляющие, чем телесеismicкие.

К локальным (местным) событиям относятся события, для которых эпицентральное расстояние менее 200 км. К этой группе относятся два типа событий – импульсы и землетрясения.

Локальные события импульсного типа - это короткие по длительности (от 1,5 до 10,0 сек.). Из спектрального анализа записи волнового поля локального события «импульсного» типа зарегистрированного 14.12.04 г. (рис. 3), видно, что в его структуре преобладают частоты 2,5-6,0 Гц.

Локальные события «импульсного» типа могут быть техногенного и природного происхождения. Для их расшифровки необходимы дополнительные полевые исследования и вторая сейсмостанция в регионе.

Микроземлетрясения – имеют большую длительность (рис. 4) и вид их сейсмограмм обусловлен особенностями геологического строения покрывки над газоконденсатным месторождением и возникшими в ней напряжениями в связи с уменьшением пластового давления газа с 20.4 Мпа до 9Мпа.

Цель создания сейсмостанции «Оренбург» состоит в мониторинге и прогнозировании землетрясений техногенного характера. Однако с помощью одной станции затруднительно определить эпицентр локальных и региональных событий и их характеристику. В связи с этим планируется создание в Оренбургской области второй сейсмостанции.

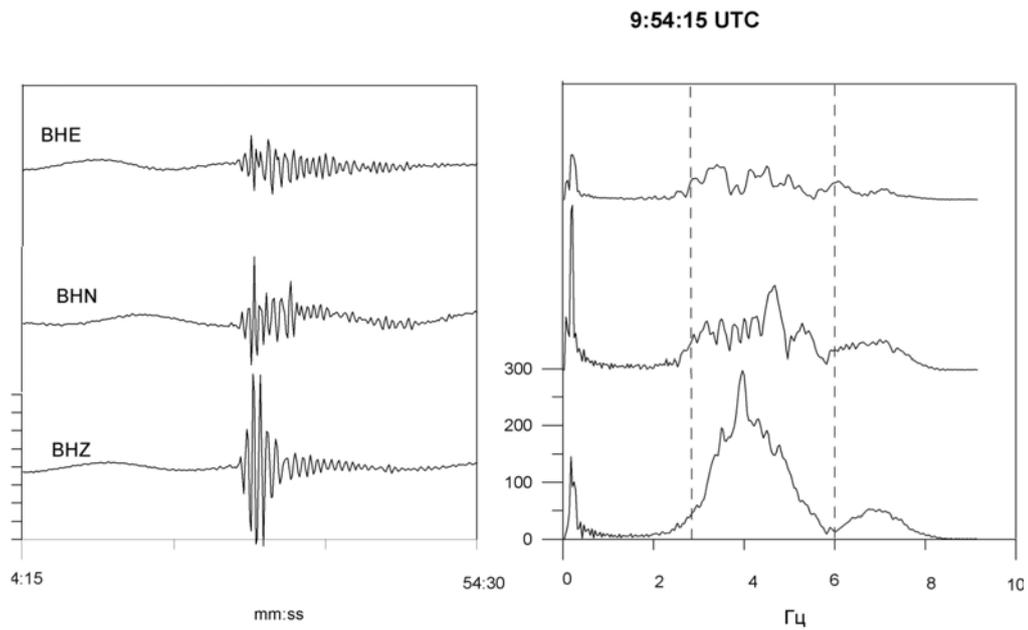


Рис. 3. Локальное событие «импульсного» типа

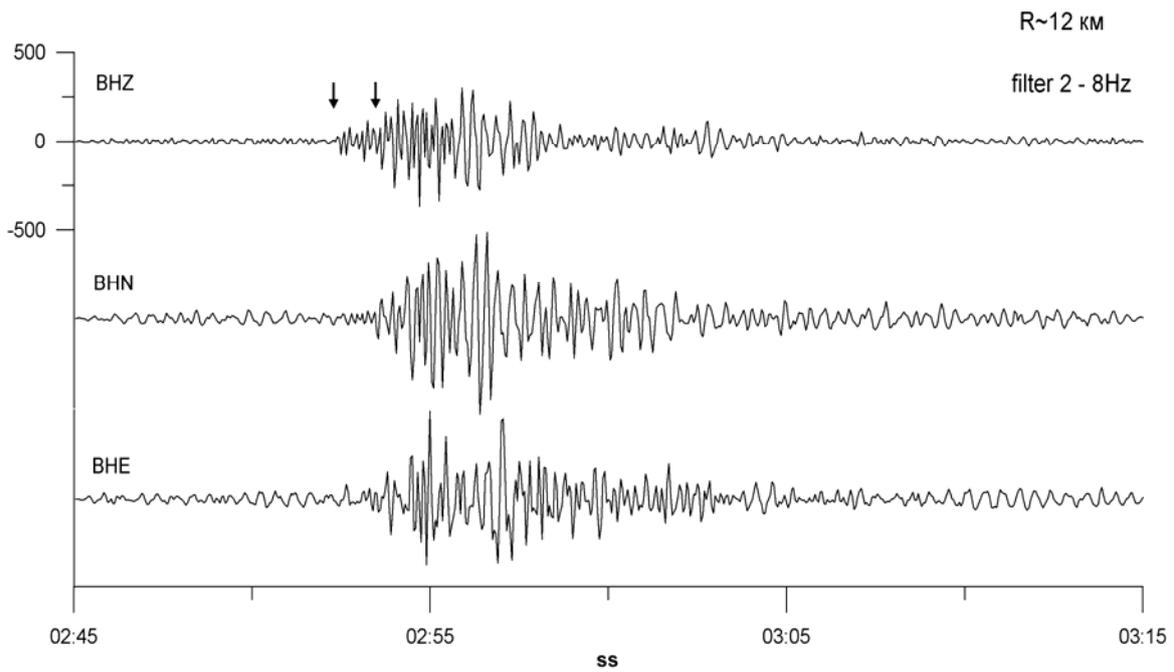


Рис. 4. Сейсмограмма события зарегистрированного 6.11.2004 в 10:02:45

СОДЕРЖАНИЕ

ГОРНОПРОМЫШЛЕННАЯ ГЕОЛОГИЯ И ГЕОЭКОЛОГИЯ

<i>Голубев Б.М.</i> Строение и механизм формирования соляных структур Верхнекамского месторождения на примере Клестовского поднятия).....	5
<i>Бабичева Н.Н.</i> Перспективы марганцевого оруденения кремнисто-карбонатной формации восточного Оренбуржья.....	8
<i>Паршин Н.П.</i> Особенности рудоносных комплексов восточной части Южного Урала.....	10
<i>Панкратьев П.В., Лоцин В.П.</i> Золотое оруденение рифтогенных бассейнов Оренбуржья.....	13
<i>Одинцова Т.А.</i> Геохимия органического вещества бокситоносных формаций СУБРа.....	16
<i>Бутолин А.П.</i> Основные черты водоносности пород в зоне затрудненного водообмена юго-востока Восточно-Европейской платформы.....	20
<i>Нестеренко Ю.М.</i> О связи подземных вод нижнего и верхнего гидродинамических этажей на Южном Урале.....	22
<i>Глянцев А.В.</i> Фильтрационные свойства пород покрышек нефтяных месторождений на Южном Урале и методика их определения.....	25
<i>Киселев Е.Н.</i> Геологическое строение и нефтеносность Загорского месторождения.....	28
<i>Суетина Л.А.</i> Особенности геологического строения и перспективы нефтегазоносности Широковской площади.....	29
<i>Молоштанова Н.Ю., Бачурин Б.А.</i> Анализ информативности геолого-геофизических методов, применяемых при поисках нефтегазоперспективных объектов на территории деятельности ООО «ЛУ-КОЙЛ-Пермь».....	32
<i>Борисов А.А.</i> Строение приповерхностной гидросферы в районе Ростовицкой нефтеперспективной структуры.....	35
<i>Леонтьева Е.А.</i> Естественные и техногенные факторы формирования подземных вод в Восточном Оренбуржье.....	38
<i>Соломатин Н.В.</i> К методике определения водного стока в аридных условиях.....	40
<i>Бачурин Б.А.</i> Газогеохимические методы при решении геологоразведочных и геоэкологических задач.....	44
<i>Шатов В.А.</i> Совершенствование методов гидрогеологического контроля в районах нефтедобычи на территории Верхнекамского месторождения калийных солей.....	47
<i>Сквалецкий Е.Н.</i> Опыт геоэкологического мониторинга на действующих горнорудных предприятиях.....	50
<i>Некрасова И.Л.</i> Экогеохимические аспекты распределения элементов-примесей в отходах угледобывающей промышленности.....	53
<i>Сметанников А.Ф.</i> Результаты минералого-технологических исследований укрупнено-лабораторной пробы шламов с целью получения коллективного концентрата благородных металлов.....	56

Оносов Д.В. Некоторые вопросы разработки обогатительной установки для разделения твердофазно-солевых пульп с целью выделения из них твердой фазы (нерастворимого в воде остатка)	60
Бабошко А.Ю. Экологическая характеристика отходов калийного производства	62
Кадебская О.И. Охрана Кунгурской Ледяной пещеры.....	66
Лаврова Н.В. Опыт наблюдения за режимом грунтовых вод в г. Кунгуре.....	69
Мокрушина О.Ю. Выделение наиболее карстоопасных участков на территории г. Кунгура и особенности их геологического строения.....	72
Наумкин Д. В. Биологический компонент в комплексном исследовании Кунгурской Ледяной пещеры	76
Сивинских П.Н. Мероприятия по обеспечению безопасности экскурсантов и благоустройству Кунгурской Ледяной пещеры, выполненные в 2004 г.	79

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

Бычков С.Г. Региональные геофизические исследования в Пермском Прикамье	82
Веселкова Н.В. Анализ погрешностей различных методов интерполяции на основе статистического моделирования.....	84
Геник И.В. Создание каркасной геолого-геофизической модели строения Юрюзано-Сылвенской депрессии с использованием гравитационного моделирования	86
Долгаль А.С. Реализация интегральных методов решения обратных задач гравиметрии и магнитометрии с использованием сеточных моделей источников.....	89
Мальцев А.И. «Пусковой эффект» при проведении стандартных газодинамических исследований на Комсомольском газовом месторождении.....	92
Простолупов Г.В. Новые методические приемы изучения строения слоистых толщ по гравитационному полю.....	94
Пугин А.В. Вейвлетный анализ данных и возможности его применения для интерпретации данных гравиразведки.....	96
Сидоров В.К. Перспективы сейсмической спектроскопии.....	98
Симанов А.А. Современная технология топографо-геодезических работ при высокоточной гравиметрической съемке	101
Ситчихин О.В. К вопросу о нефтегазоносности верхнедевонско-турнейского карбонатного комплекса Соликамской депрессии на основе комплексного анализа геолого-геофизических данных	103
Тарантин М.В. Определение структуры горных пород по материалам акустического каротажа.....	105
Чадаев М.С. Решение некоторых задач скважинной гравиразведки в комплексе с сейсмическими данными	107
Щербинина Г.П. Нефтегазоносность северо-западной части Юрюзано-Сылвенской депрессии по результатам интерпретации потенциальных полей.....	109

Яковлев С.И. Результаты повторных микрогравиметрических наблюдений при инженерно-геологических исследованиях в городских условиях.....	112
Колесников В.П. О результатах исследований по созданию методического и интерпретационного обеспечения электроразведочных работ.....	113
Серебренников А.М. К решению задачи возбуждения плоско-слоистых сред на основе аналитических представлений Рохлина и Зоммерфельда.....	117
Колесников В.П., Татаркин А.В. О результатах электрометрических работ в зоне активной тектоники Юга Сибири.....	121
Каменских А.А., Серебренников А.М. Численное моделирование электромагнитного поля для источника тока в виде петли, погруженного в слоистое пространство.....	124
Санфиоров И.А., Прийма Г.Ю. Сейсмостратиграфическая интерпретация при решении инженерно-геологических задач.....	127
Бабкин А.И. Физическое моделирование сейсморазведочного мониторинга изменчивости напряженно-деформированного состояния массива.....	129
Пригара А.М. Развитие аппарата комплексного параметра суммарного поля отраженных волн.....	132
Ярославцев А.Г. Сейсмические исследования зон развития оползневых процессов.....	135
Семерикова И.И. Динамические характеристики сейсмических волн при решении геологических задач в трещинных средах.....	138
Фаткин К.Б. Возможности динамического анализа данных мало-глубинной и инженерной сейсморазведки.....	143
Глебов С.В. Иерархия и ранжирование задач, ставящихся перед геофизическим комплексом на этапе разработки ВКМС.....	146
Калашникова М.М. Сейсмическое моделирование различных форм карстогенной нарушенности.....	148
Чугаев А.В. Сравнительный анализ методик расчета статических поправок для инженерной сейсморазведки.....	151
Баранов Ю.В. Оценка сейсмического воздействия взрывных работ, производимых ОАО «Сарановская шахта «Рудная» на здания п. Сараны.....	152
Блинова Т.С. Изучение границы Мохоровичича в Западно-Уральском регионе.....	155
Бутырин П.Г., Верхованцев Ф.Г. Использование цифровой системы регистрации при установке лазерного деформографа на территории ВКМКС.....	159
Голубева И.В. Сейсмическая станция «Оренбург» и первая оценка результатов ее мониторинга.....	161
Дягилев Р.А. Возможности локальной микросейсмической группы при мониторинге сейсмических процессов в эпицентре Чуйского землетрясения (27 сентября 2003 г.).....	163
Ипатов Ю.П. Исследование сейсмического эффекта технологических взрывов на трассах магистральных газопроводных систем.....	167
Иванова Ю.В. Особенности вариаций микросейсмических шумов в калийном руднике.....	170

<i>Маловичко Д.А., Иванова Ю.В.</i> Оценка энергии сейсмических событий в Уральском регионе	173
<i>Некрасова Л.В.</i> Вариации природно-техногенной сейсмичности на Западном Урале.....	174
<i>Шулаков Д.Ю.</i> Использование микросейсмической съемки для диагностики технического состояния магистральных газопроводов	176

ГЕОМЕХАНИКА

<i>Барях А.А.</i> Геомеханические подходы к оценке карстоопасности	180
<i>Самоделкина Н.А.</i> Теоретическое обоснование критериев определения степени нагружения междукамерных целиков	184
<i>Шумихина А.Ю.</i> Опыт геомеханической интерпретации сейсморазведочных исследований соляного массива.....	187
<i>Федосеев А.К.</i> Принципы и подходы к оценке воздействия разработки залежей нефти на состояние недр.....	189
<i>Хронусов В.В.</i> Геоинформационное обеспечение пространственного математического моделирования геомеханических процессов.....	192
<i>Девятков С.Ю.</i> Математическое моделирование изменения во времени состояния подработанного массива сложной пространственной конфигурации.....	193
<i>Телегина Е.А.</i> Разработка мер охраны ВЗТ при отработке сопряженных панелей рудника СКРУ-3.....	197
<i>Лобанов С.Ю.</i> Об адекватности применения метода переменных модулей в реологических расчетах	200
<i>Барский М.Г.</i> Программный комплекс геометризации породного массива по данным геологической разведки	205
<i>Дерюженко С.Г.</i> Методика комплектации баз геоданных строительного назначения	208
<i>Асанов В.А.</i> Методические особенности исследования механических свойств квазипластичных горных пород.....	211
<i>Токсаров В.Н.</i> Оценка влияния масштабного фактора на результаты определения свойств соляных пород	213
<i>Паньков И.Л.</i> О коэффициенте формы образцов соляных пород	216
<i>Аникин В.В.</i> Исследование степени неоднородности соляных пород методом ультразвуковой дефектоскопии.....	219
<i>Гурко И.В.</i> Оценка возможности контроля опасности оползневых явлений акустоэмиссионным методом	222
<i>Валишевский К.А., Балакирев Е.М.</i> Анализ состояния междукамерных целиков при отработке сильвинитовых пластов Верхнекамского калийного месторождения.....	225

РУДНИЧНАЯ АЭРОГАЗОДИНАМИКА, АЭРОЛОГИЯ И ГОРНАЯ ТЕПЛОФИЗИКА

<i>Казаков Б.П.</i> Влияние гравитационных сил на устойчивость турбулентных потоков в сложных вентиляционных сетях рудников.....	228
<i>Исаевич А.Г.</i> Особенности применения рециркуляционных систем при проветривании калийных рудников.....	232

Левин Л.Ю. Управление климатическими параметрами в транспортных выработках рабочих горизонтов 4 РУ РУП «ПО «Беларуськалий»	236
Шалимов А.В. Возможности отрицательного регулирования в централизованной системе автоматического управления проветриванием рудника.....	239
Круглов Ю.В. Разработка алгоритма оптимального управления воздухораспределением для АСУ проветриванием (на примере рудника БКПРУ-2)	242
Снежневский А.Ю. Перераспределение воздушных потоков в надшахтном здании посредством воздушных завес	245
Южанин А.С. Использование эжекторных вентиляционных установок для проветривания гипсовой шахты ОАО «Кнауф Гипс Новомосковск»	249
Куклин А.А., Южанин А.С. Результаты шахтных испытаний частичного повторного использования воздуха при проветривании рудников ОАО «Сильвинит».....	251
Норина Н.В., Лаптев В.М. Результаты промышленных испытаний нейтрализатора серосодержащих газов	253
Фоминых В.И. Особенности разработки технологических регламентов для основных процессов горного производства	256
Альменко Н.И. Главные вентиляторные установки рудников ОАО «Сильвинит»	262
Андрейко С.С. Газодинамические явления из почвы подготовительных горных выработок на I калийном горизонте рудника 1 РУ ПО «Беларуськалий»	264
Иванов О.В. Прогнозирование опасных по газодинамическим явлениям зон на сильвинитовых пластах Верхнекамского месторождения калийных солей.....	267
Нестерова С.Ю. Результаты исследования эффективности применения дегазационно-разгрузочной щели для предотвращения газодинамических явлений при механизированной выемке карналлитового пласта В.....	270
Некрасов С.В. Трехмерный геомеханический анализ влияния дегазационно-разгрузочной щели на состояние приконтурного массива.....	273
Пьянников В.П. Расчёт проветривания тупиковой выработки комбинированным способом с реверсированием вентиляционной струи.....	275

ИНФОРМАЦИЯ

Нестеренко М.Ю. О сейсмостанции «Оренбург».....	279
--	-----

Научное издание

**СТРАТЕГИЯ И ПРОЦЕССЫ
ОСВОЕНИЯ ГЕОРЕСУРСОВ**

*Материалы ежегодной научной сессии Горного института УрО РАН
по результатам НИР в 2005 году
6-13 апреля 2006 г.*

Редактор – О.В. Семченко
Компьютерная верстка – А.Б. Баталин

Сдано в набор 04.04.2006. Подписано в печать 06.04.2006.
Формат 60x84/8. Усл. печ. л. 33,48. Уч.-изд. л. 37,0.
Тираж 100 экз.

Отпечатано сектором научно-технической информации
Горного института УрО РАН
614007, Пермь, ул. Сибирская, 78а