ҚР ҰҒА-ның Хабарлары. Геология және техникалық ғылымдар сериясы.
Известия НАН РК. Серия геологии и технических наук. 2012. №4. С. 60–68

УДК 550.83:577.4(574.41)

М. А. УТЕГЕНОВА[1]

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПРИ РЕШЕНИИ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ В МЕСТАХ ПРОВЕДЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗВРЫВОВ НА ПРИМЕРЕ УЧАСТКА БАЛАПАН

(СЕМИПАЛАТИНСКИЙ ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ ПОЛИГОН)

Балапан ауданының құрылымдық геологиялық мәліметтеріне және тау жыныстарының физикалық құрылысына сай физикалық өрістердің техногенді әлсіз құрылымы мен табиғи карталауды анықтаудағы сейсмикалық және электрлік параметрлері көрсетілген.

На основании данных по геологическому строению участка Балапан и анализа физических свойств горных пород, обоснованы информативные сейсмические и электрические параметры для обнаружения и картирования природных и техногенных ослабленных структур в физических полях.

Based on the geological structure of the site Balapan and analysis of physical properties of rocks justified informative seismic and electrical parameters for the detection and mapping of the weakened man-made structures in physical fields.

В период функционирования СИП (Семипалатинский испытательный полигон) на территории участка Балапан было проведено свыше ста подземных ядерных взрывов (ПЯВ) мощностью от 1 до 212 кТ в блоках горных пород, различающихся по вещественному составу, глубинным структурно-тектоническим и гидрогеологическим условиям. Таким образом, площадки проведения ПЯВ в полной мере могут быть отнесены к подземным ядерно- и радиационно опасным объектам – хранилищам. Потенциальную опасность для окружающей среды, согласно [1, 2], представляют проявленность на этих объектах современных геодинамических природно-техногенных процессов (обрушение полостей, повышение нарушенности среды, провалы, оседания территории и дифференцированные движения земной коры) с не контролируемым распространением радионуклидного загрязнения в недрах.

Вероятность активизации указанных экологически опасных процессов существенно возрастает в обводненных разрезах. В таких разрезах трещинные структуры, сопряженные с ядерными полостями, выступают в качестве путей миграции радионуклидов из очаговых зон ПЯВ, в которых при обводнении не только провоцируются, но и усиливаются процессы разрушения ядерных полостей.

В этой связи, при оценке и прогнозировании геоэкологического состояния территорий проведения ПЯВ первоочередной задачей является выявление и картирование в фундаменте природных трещинных структур, распространяющихся на глубины проведения взрывов, и оценка поствзрывной нарушенности и обводненности очаговых зон в блоках ПЯВ.

В настоящее время, несмотря на достаточно детальную изученность тектонической обстановки на участке, главным образом по данным бурения и различных геологических съемок, по имеющимся данным не представляется возможным оценить глубинную обводненность ни даже установленных ослабленных структур, ни очаговых зон ПЯВ. Решение первой задачи при обследовании больших площадей, что имеет место на участке Балапан, традиционными методами геологического картирования на основе бурения потребует значительных материальных затрат и времени. Для второй задачи эти методы, связанные с проходкой скважин в гипоцентральные области

[1] Казахстан, 1234566 , г. Каскелен, ул. Наурызбай батыра, 4, ГО «Каскелен».

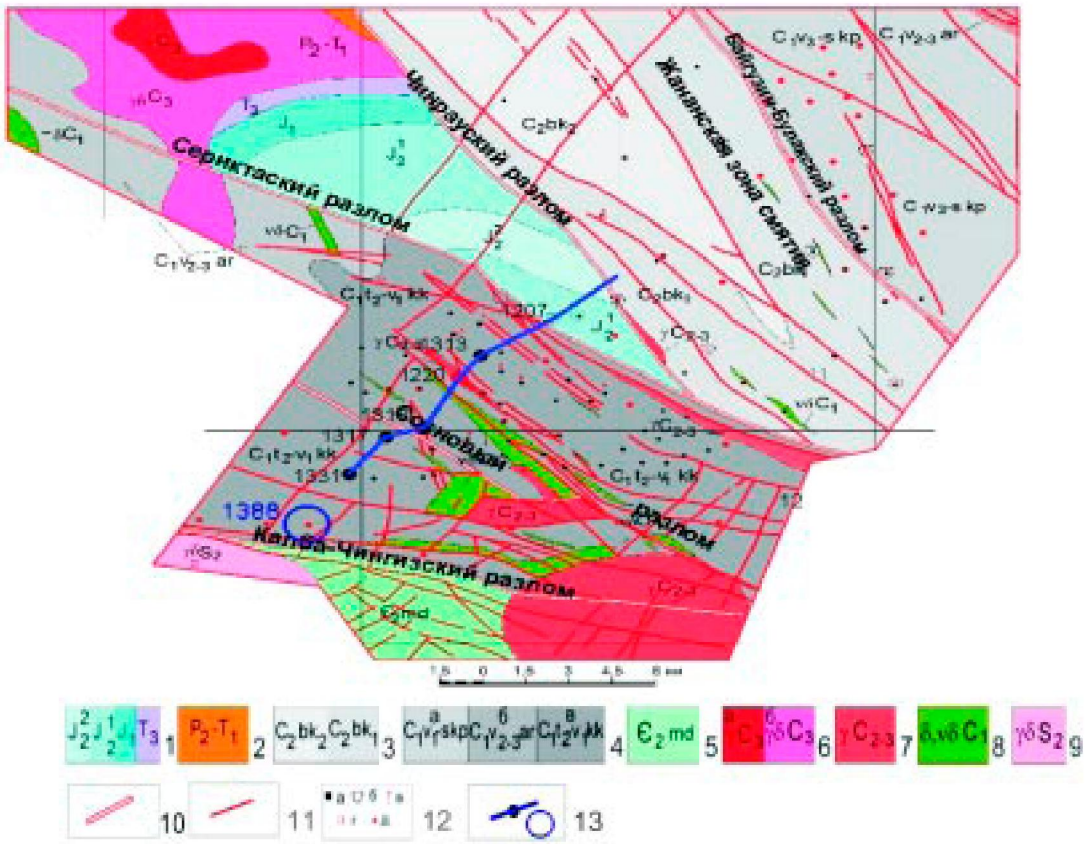


Рис. 1. Участок Балапан. Схематическая геологическая карта со снятым чехлом кайнозойских отложений

1 – Средняя юра – верхний триас: конгломераты, песчаники, алевролиты с прослоями и линзами углей в нижней толще средней юры. 2 – Верхняя пермь – нижний триас: песчаники, алевролиты. Каменноугольная система. 3 – Средний отдел, буконьская свита: конгломераты, песчаники, глинистые и углистые алевролиты, с прослоями и линзами углей в верхней подсвите и туфами среднего состава в нижней. 4 – Нижний отдел: конгломераты, песчаники, алевролиты с туфами основного и среднего состава в кокпектинской свите (а), известняками в аркалыкской свите (б), известняками, туфопесчаниками, туфами основного и среднего состава в коконьской свите (в). 5 - Средний кембрий, майданская свита: туфопесчаники и туфы среднего состава, кремнистые сланцы, алевролиты. Интрузивные породы. 6 - Позднекаменноугольные граниты (а) и гранодиориты (б). 7 – Средне-позднекаменноугольные граниты. 8 – Раннекаменноугольные диориты, гранодиориты. 9 – Позднесилурийские гранодиориты. 10 – региональные разломы. 11 – второстепенные разломы. 12 – боевые скважины: а - с гипоцентрами ПЯВ в углефицированных горных породах; б - с провальными воронками; в - с газовыделением; г - с радиоактивным загрязнением приустьевых площадок; д - без углефицированных горных пород и аномальных явлений. 13 – линия профиля ЗСБ (а) с точками пересечения с боевыми скважинами (б) и площадка сбоевой скважины 1388 для детального изучения поствзрывной нарушенности и обводненности блока ПЯВ

ПЯВ, вовсе не приемлемы, как нарушающие сформировавшийся геоэкологический режим испытательных площадок.

Принимая во внимание важность задачи выявления и ранжирования обводненных ослабленных природных и техногенных структур и недостатки традиционных приемов ее решений, несомненна актуальность привлечения с этой целью других способов, свободных от указанных ограничений. В качестве таковых представляется целесообразным применение геофизических методов исследования недр, эффективно используемых при решении многих задач, в том числе и связанных с изучением обводненной трещиноватости геологических сред [3, 4 и др.].

Обоснование способов и технологий, обеспечивающих изучение обводненной трещиноватости пород скального фундамента, явилось одним из направлений комплексных геофизических исследований ИГИНЯЦ РК. Результаты такого обоснования, на примере участка Балапан, полученные при участии автора, являются предметом рассмотрения в настоящей статье.

В геологическом строении участка (рис. 1) принимают участие породы кембрийской, камен-

ноугольной, триасовой, юрской и неоген-четвертичной систем.

Отложения кембрия (майданская свита) установлены на юге участка за Калба-Чингизским разломом и представлены вулканогенно-терригенными (туфы и туфопесчаники) и терригенно-кремнистыми (кремнистые сланцы и алевролиты) комплексами с суммарной мощностью до 1120 метров, прорванными крупной гранитной интрузией.

Разрез каменноугольных отложений снизу вверх представлен образованиями коконьской (C_1t_2-v_1kk), аркалыкской ($C_1v_{2-3}ar$), кокпектинской (C_1v_3-skp) и буконьской (C_2bk) свит, мощностью соответственно 2300, 4000, 1500-3700 и 2500-3000 метров.

При этом, как следует из описания геологической карты (см. рис.1), коконьская и аркарлыкская свиты сложены преимущественно осадочными породами (конгломератами, песчаниками, алевролитами). Эффузивно-осадочные образования (лавы, туфолавы, туфы) в этих свитах имеют подчиненное значение.

Для кокпетинской свиты, занимающей блок, ограниченный Байгузин-Булакским и Северо-Жананским разломами, характерным является вулканогенно-осадочный состав пород, представленных туфами основного и среднего состава, а также туфами андезитовых порфиритов, смятыми в складки. Только в основании этой свиты установлены туфы, переслаивающиеся с туфопесчаниками, песчаниками и конгломератами.

Отложения буконьской свиты слагают Жананский геоблок, заключенный между Байгузин-Булакским и Чинрауским разломами и представлены частым переслаиванием песчаников, конгломератов, алевролитов, углистых сланцев с пластами и линзами углей.

В центральной части участка картируется блок клиновидной формы, сложенный толщей платформенных угленосных отложений верхнего триаса – нижней-средней юры, выполняющих грабенообразную структуру, сформировавшуюся на стыке двух ветвей глубинного Чинрауского разлома – мульду Юбилейную. Мощность отложений средней юры вблизи ограничивающего грабен разлома, по данным проходки скважины Глубокой, превышает 700 м.

На значительной части площади участка, исключая его северо-западный и южный фланги, породы палеозойского и мезозойского возраста перекрыты неогеновыми глинами и аллювиальными отложениями четвертичного возраста, выполняющими впадину, приуроченную к палеодолине реки Шаган.

Интрузивный магматизм. Интрузии различного возраста тяготеют к крупным тектоническим нарушениям (Калба-Чингизский и Чинрауский разломы). Наиболее распространены породы гранитоидного ряда, в меньшей степени – породы среднего и основного состава. Магматические породы представлены разновозрастными интрузиями: силурийскими гранодиоритовыми, раннекаменноугольными габбро-диорит-гранодиоритовыми, средне-позднекаменноугольными и позднекаменноугольными.

Разрывные нарушения являются важным структурным элементом в строении участка. Региональные структуры представлены Калба-Чингизским, Чинрауским, Байгузин-Булакским разломами и Жананской зоной смятия, имеющими суб-северо-западное простирание. Как правило, в этих разломах наблюдаются обширные зоны рассланцевания, смятия, брекчирования, а также присутствие малых интрузий и гидротермально измененных пород.

Своеобразную тектоническую структуру образует Жананская зона смятия шириной до 3 километров. В зоне смятия породы дислоцированы, интенсивно рассланцованы, гидротермально изменены с широким развитием кварцевых жил и прожилков. Характерным является развитие по зоне мощных кор выветривания.

Кроме названных региональных глубинных разломов отмечаются многочисленные разнонаправленные разрывные тектонические нарушения более низких порядков, которые разбивают территорию на многочисленные блоки разнообразных форм и размеров.

Характерной особенностью участка Балапан является широко проявленная тектоническая трещиноватость пород. Интенсивность тектонической трещиноватости зависит от физико-механических свойств горных пород, от наличия крупных разломов и зон дробления. Отмечается приуроченность наибольшей трещиноватости к осевым частям складок.

В гидрогеологическом отношении участок Балапан характеризуется развитием трех водоносных комплексов – верховодка и грунтовые воды, трещинно-поровые воды в зонах экзогенной трещиноватости кровли фундамента и платформенных отложений и глубинные трещинные воды. Наибольшее распространение имеют минерали-

зованные трещинно-поровые и глубинные трещинные воды с минерализацией от первых г/л до 15,3 г/л, иногда достигая 69 г/л.

Глубинные трещинные воды характеризуются хорошей гидравлической связью с трещинно-поровыми водами, что позволяет рассматривать их в совокупности в качестве единой региональной гидродинамической системы, связанной с верхней частью геологического разреза. Установленная глубина проникновения трещинных вод по району СИП составляет 150 – 170 метров, которая существенно увеличивается в участках проведения ПЯВ.

В целом по геологическим данным участок Балапан характеризуется напряженной тектонической обстановкой, проявленной наличием региональных разрывных структур и системой разнонаправленных разломов. Сопровождающиеся тектонической трещиноватостью и интенсивной пликативной дислоцированностью пород, они представляют собой ослабленные водопроницаемые структуры, которые можно рассматривать в качестве потенциальных каналов миграции радионуклидов. Наличие нескольких водоносных комплексов и гидравлической связи между поверхностными, трещинными и трещинно-поровыми водами, в сочетании с водопроницаемыми структурами, сопряженными с полостями ПЯВ, обуславливают формирование в пределах участка благоприятных условий для развития активных гидродинамических процессов и миграции техногенных радионуклидов в составе подземных вод с выходом на окружающие территории.

Полагая, что объектами прогноза выступают природные и техногенные обводненные трещинные, в том числе и локальные, неоднородности геологической среды, рассмотрим закономерности распределения их физико-механических, упругих и водно-физических свойств в зависимости от вещественного состава вмещающих горных пород и деструктивного действия ПЯВ.

В результате анализа по определению физико-механических и водно-физических свойств кернового материала скважин, пробуренных на глубины порядка 500-600 метров [5], установлено, что все породы, слагающие разрез можно свести в две группы, существенно отличающиеся по прочностным свойствам, пористости и водопоглощению.

В первую группу входят прочные интрузивные, вулканогенные, осадочно-вулканогенные, кремнистые породы и плотные песчаники, характеризующиеся максимальными значениями параметра сопротивления сжатию Rc, измеренные значения которого составляют 105-160 мПа. Для этой группы типичны пониженные значения пористости (Кп не более 0.6-0.7 %), водопоглощения (Кв=0.3-1.0%) и повышенные значения коэффициента размягчения (Кр=0.8-0.9), характеризующего снижение прочности пород в водонасыщенном состоянии. Скорости упругих продольных волн Vp составляют значения 4.4-5.6 км/с, для поперечных Vs – 2.7-3.1 км/с.

Для осадочных пород и сланцев эти параметры составляют соответственно Rc= 19-45 мПа, Кп=0.8-3.0%, Кв=0.3-1.0%, Кр=0.4-0.6, Vp=3.8-4.7 км/с, Vs=2.6-2.8 км/с.

В тектонически ослабленных зонах, вскрытых скважинами, отмечено существенное снижение прочности, скорости упругих волн, повышение пористости и водопоглощения. Для пород первой группы эти параметры могут достигать значений Rc=50-80 мПа, Кп=1.8%, Кв=0.46%, Vp=3.0-4.0 км/с, Vs= 2.5 км/с. Для второй группы – Rc=17-22мПа, Кп=4.0-6.0, Кв=1.9%, Vp=2.0-3.5 км/с, Vs=1.7 км/с.

Следует отметить, что скоростные характеристики для обеих групп пород, полученные по сейсмическим данным [6 и др.] на территории СИП, практически соответствуют результатам измерений по образцам.

Еще большие деформации физико-механических и водно-физических свойств имеют место в очаговых зонах ПЯВ. Данные [6], полученные на СИП в одной из штолен свидетельствуют, что в очаговых зонах происходит понижение прочности пород с 202 до 18 мПа, скорости упругих волн – с 5.3 до 1.9 км/с, повышение пористости – с 3.1 до 15.5% и водопоглощения – с 0.5 до 7.25%. Значимые изменения этих параметров наблюдаются на удалениях от гипоцентров ПЯВ до 49 м/кТ$^{1/3}$. При мощности взрывов 50-100 кТ эта величина составляет ≈160-200 метров.

Следует отметить, что по данным [7], в зависимости от структуры горного массива и прочности межблоковых связей, локальные разрушения могут наблюдаться на расстоянии вплоть до 1000 м/кТ$^{1/3}$. Такое увеличение «дальности» деструктивного действия ПЯВ, в том числе за счет подновления природных трещинных структур, вполне правомочно и для участка Балапан, особенностью

которого является блоковое строение и наличие множества тектонически ослабленных зон.

Принимая во внимание приведенные характеристики прочностных и упругих свойств очевидно, что в физико-геологических условиях СИП существуют реальные предпосылки для привлечения сейсмических методов для выявления и изучения как природных, так и техногенных ослабленных структур.

Важным следствием повышенной трещиноватости в природных и техногенных нарушенных зонах, проявленной понижением скорости упругих волн, является повышение в них водопроницаемости. Это обстоятельство создает возможность инфильтрации подземных вод на значительную глубину, вплоть до гипоцентров ПЯВ, сопровождающейся, как показано в [8], локальным повышением электропроводности в водозаполненных средах. В этой связи заметим, что согласно [9], даже увеличение минерализации с 0.01 до 1 г/л может приводить к изменению электрического сопротивления геологической среды в 100 раз.

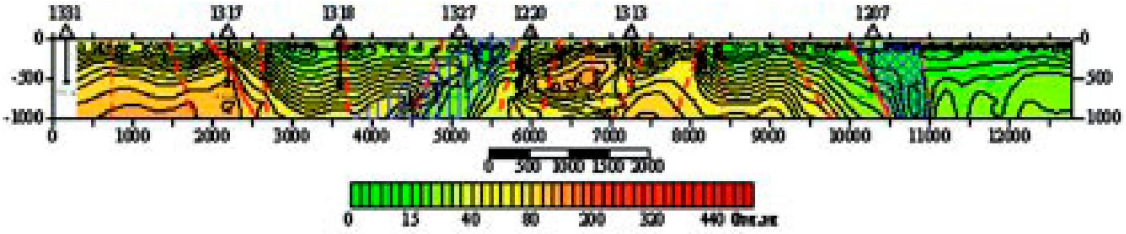
В условиях значительной минерализации подземных вод (до 15.3 г/л), следует ожидать не меньших эффектов повышения электропроводности в зонах инфильтрации подземных вод по природным и техногенным трещинным структурам, что создает возможность картирования таких объектов электроразведкой методом сопротивлений.

Как следует из анализа проявленности природных и техногенных ослабленных структур в физических полях, методы сейсморазведки имеют принципиальную возможность обнаружения и картирования природных и техногенных ослабленных структур, а методы сопротивления позволят оценивать их обводненность. При этом очевидна целесообразность комплексирования этих методов для получения более полной характеристики изучаемых объектов.

Рассмотрим результаты практической реализации выводов по предпосылкам привлечения и комплексированию геофизических методов при изучении обводненной трещиноватости пород скального фундамента в местах проведения ПЯВ на участке Балапан. Привлечения методов электроразведки и сейсморазведки при выявлении и картировании в фундаменте природных трещинных структур, распространяющихся на глубины проведения взрывов, и оценке поствзрывной нарушенности и обводненности очаговых зон в блоках ПЯВ включала выполнение профильных съемок по линиям опорных и детализационных профилей. Глубинность исследований составляла не менее 800-1000 метров, достаточную для выявления искомых объектов.

Электроразведка. За основу принят электромагнитный метод зондирования становлением поля в ближней зоне (ЗСБ), как наиболее чувствительный к обнаружению электропроводящих объектов, не требующий многокилометровых установок питающих и приемных линий и источников электроэнергии для обеспечения необходимой глубинности зондирования. Зондирования выполнялись установкой «совмещенная петля» размером 200 × 200 м. Шаг наблюдений по опорным профилям составлял 200 метров, с детализацией 100 метров, а по площадкам ПЯВ – 100 метров, с детализацией в районах эпицентров взрывов до 50 метров. Регистратор – ЦИКЛ-5. Обработка данных включала редактирование кривых наблюденного сигнала ЗСБ, построение разрезов в параметре кажущегося электрического сопротивления Р°С и выделение в разрезах зон с аномально пониженными значениями электрического сопротивления и градиентов этого параметра, а также построение результативных геоэлектрических разрезов с использованием пакетов программ «Подбор».

Сейсморазведка. Для выявления и определения конфигурации искомых неоднородностей, каковыми являются очаговые зоны ПЯВ, в качестве информативного параметра использована энергия рассеянных (дифрагированных) волн (ЭРВ) [10, 11, 12]. В полевых наблюдениях в качестве источника упругих колебаний использована установка «падающий груз», имеющая энергию порядка 12-15 Кдж. Прием колебаний – вертикальными сейсмоприемниками DF-8. Регистратор – цифровой, с шагом квантования сигнала 1 мс и длиной записи 2.0 с. Возбуждение и прием упругих колебаний осуществлялись по системе непродольных профилей с расстоянием между пунктами возбуждения (ПВ) 20 метров и пунктами приема (ПП) – 10 метров, расположенным в линию на базе 460 метров. Обработка данных – с использованием пакета VISTA, а также ПМО, предназначенного для анализа полей рассеянных (дифрагированных) волн с построением разрезов и срезов в параметре энергии рассеянных волн. Интерпретация таких разрезов включала выделе-



А. Разрез изоом по данным электроразведки ЗСБ с элементами интерпретации

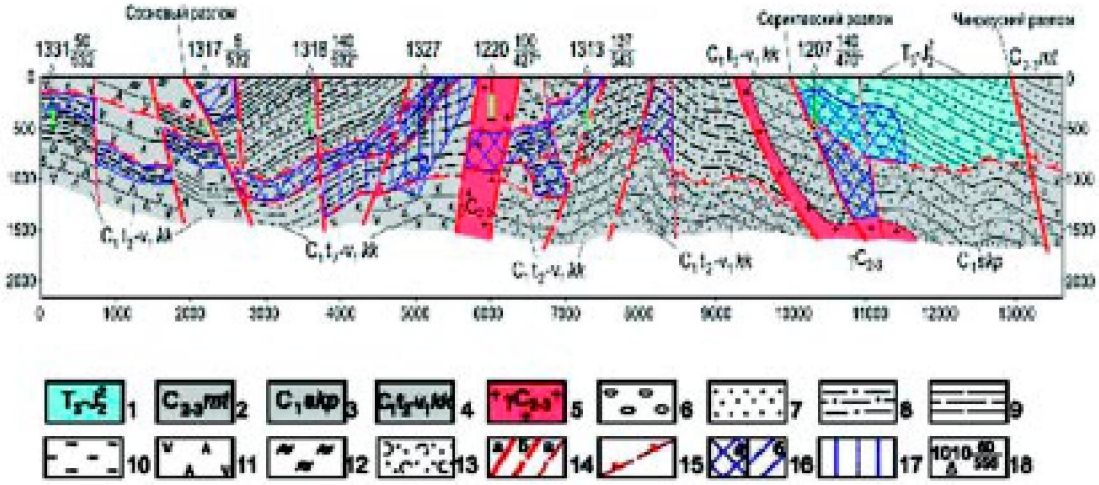


Рис. 2. Участок Балапан, профиль 6.
Картирование тектонических структур по данным электроразведки ЗСБ

1 - триасовая система, верхний отдел - юрская система, средний отдел; 2-4 - каменноугольная система: 2 -средний - верхний отделы, майтюбинская свита; 3 - нижний отдел, серпуховский ярус, кокпектинская свита; 4 - нижний отдел, турнейский - визейский ярусы, коконьская свита; 5 — средне-позднекаменноугольные граниты; 6 - конгломераты; 7 - песчаники; 8 - алевролиты; 9 - углистые породы: сланцы, аргиллиты, алевролиты; 10 - сланцы; 11 - андезитодациты; 12 - лавобрекчии; 13 - туфы, туфопесчаники, туффиты; 14 -разломы: а - региональные, б - четко проявленные по геофизическим данным, в - предполагаемые; 15 -предполагаемые надвиги; 16 - зоны максимальной водонасыщенности по данным электроразведки; 17 -контур аномалии фазового параметра поляризуемости и повышенной электропроводности горных пород по данным СГВП; 18 - скважины, их номера, в числителе - мощность заряда в кТ, в знаменателе - принятая глубина взрыва в м.

ние зон с максимальными и повышенными значениями энергии рассеянных волн. Первые интерпретировались зонами максимальной трещиноватости и дробления пород в районе гипоцентра ПЯВ, вторые определяли контур механического воздействия ПЯВ на геологическую среду.

Для изучения глубинной структурно-тектонической обстановки по данным ЗСБ построен геоэлектрический разрез на глубину до 1000 метров в параметре электрического сопротивления ρτ. Как показано на рис. 2, этот параметр, изменяющийся от первых десятков до 200 и более Ом×м, характеризует блочное строение исследуемой геологической среды.

Основной закономерностью распределения ρτ по линии профиля 6 (рис. 2-А) является чередование блоков с повышенными и пониженными значениями этого параметра (от 10 до 500 ом×м), вплоть до Сериктасского разлома, и преимущественно пониженные (не более 50 ом×м) значения этого параметра в блоке севернее этого разлома.

Мозаичное распределение электрических свойств в южной половине профиля, вплоть до скважины 1313, обусловлено, главным образом, существенной неоднородностью вещественного состава разреза, представленного осадочно-метаморфогенными и вулканогенными образованиями (песчаниками, алевролитами, аргиллитами и углистыми сланцами, туфами, туфопесчаниками, туффитами, включениями горизонтов дацитов и андезито-дацитов) карбонового возраста, осложненными в складки. Преимущественно пониженными значениями электрического сопротивле-

ния, по линии профиля 6, характеризуются глинистые и углефицированые отложения триаса и юры в пространстве между Сериктасским и Чинрауским разломами.

Границам между такими неоднородностями, как правило, тектоническим, соответствуют градиентные участки понижения электрического сопротивления. При этом локальные области с наиболее низкими значениями электрического сопротивления проинтерпретированы обводненными зонами тектонических нарушений.

Среди них наиболее значимыми по профилю 6 являются крутопадающая в южном направлении зона мощностью порядка 2.0 км в интервале между эпицентрами ПЯВ в скважинах 1327 и 1220, а также примыкающая с севера к Сериктаскому разлому, зона в районе скважины 1207 в углефицированных породах. В меньшей степени проявлена зона пониженных значений электрического сопротивления в районе газовыделяющей скважины 1313.

По данным количественной интерпретации (рисунок 2-Б) характерной особенностью разреза в интервале ПК 0-7000 является наличие обводненных участков на глубинах от первых десятков до 1000 метров в песчано-алевролито-сланцевой толще и горизонтах углистых пород. Такие обводненные участки в интервале профиля ПК 0-5500, вероятно, приурочены к зонам надвиговых структур и послойных срывов, в районе скважины 1220 – к зоне влияния трещинной интрузии гранитов, в районе скважины 1207 – к зоне обводненной трещиноватости, прилегающей с севера к Сериктасскому разлому.

Характерной особенностью выделенных обводненных структур является их пространственная связь со скважинами ПЯВ, в том числе и с явно выраженными поствзрывными деструктивными проявлениями (1207) и газовыделением (1313, 1318). Эти обстоятельства являются важными показателями для оценки и прогнозирования геоэкологической обстановки, характеризующими возрастанием вероятности обводнения ядерных полостей, следствием которого может быть ускорение их разрушения с последующим выносом радионуклидов за пределы их «захоронения» подземными водами.

Для ПЯВ, проведенных в углистых породах, это означает наличие предпосылок для активизации процессов окисления в углистых породах с образованием горючих и токсичных газов, которые могут быть выброшены в атмосферу по сценарию, подобному скважине «Глубокой».

Оценка поствзрывной нарушенности и обводненности очаговой зоны в блоке скважины 1388. В этой скважине проведено два взрыва мощностью до 150 и до 20 кТ, один из которых проведен на глубине 530 метров, сведения по второму ПЯВ отсутствуют.

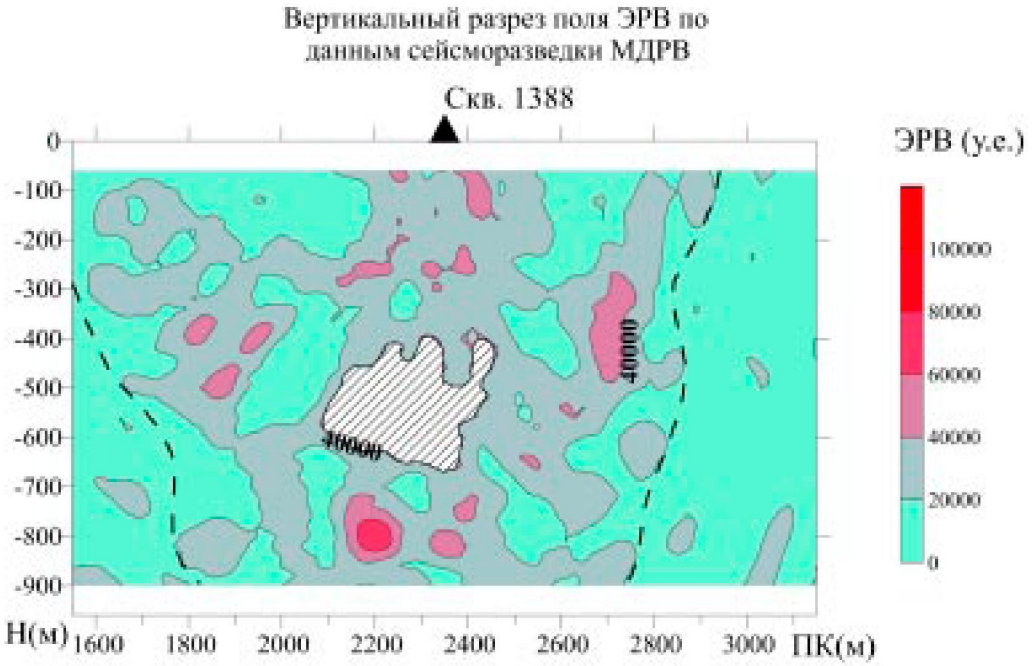
По площадке скважины 1388 (рисунок 3-А) установлено, что уровень нормального поля энергии рассеянных волн составляет порядка 20000 у.е. Согласно полученному распределению поля энергии рассеянных волн максимальными ее значениями (60000 усл.ед. и более), с вероятностью не менее 0.95, в интервале глубин от 650 до 400 метров выделена (по изолинии 40000 у.е.) близкая к изометричной область с горизонтальной мощностью порядка 300-320 метров. Она проинтерпретирована, согласно определению и расчетным размерам [6], как зона дробления и интенсивной трещиноватости и дробления, обусловленная деструктивным действием ПЯВ.

В целом по этой площадке область динамического воздействия ПЯВ (зона подновленных трещин) прослеживается в радиусе 600-650 метров, хотя расчетные размеры этой зоны согласно [6], составляют величину не более 344-370 метров. Наиболее вероятным объяснением увеличения «дальности» деструктивного действия ПЯВ может, как показанов [6], быть добавочное воздействие второго заряда.

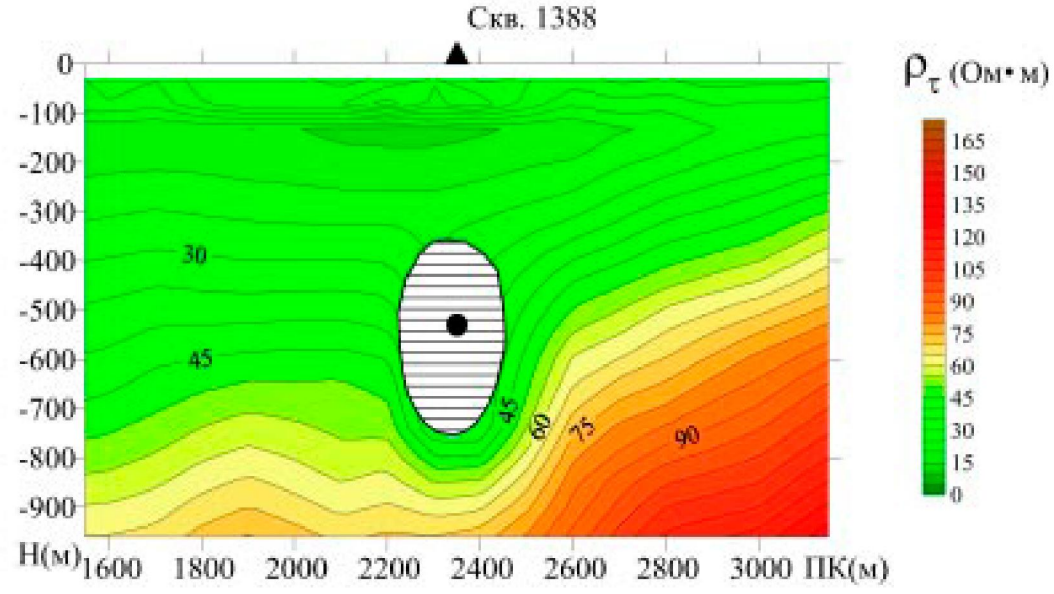
Особенностью геоэлектрического разреза по данным электроразведки ЗСБ в этом же сечении (рис. 3-Б) является наличие локального понижения электрического сопротивления в районе гипоцентра ПЯВ. Контур наиболее значимых деформаций поля Рτ с аномально пониженными значениями этого параметра в интервале глубин 700-350 метров проинтерпретирован обводненной зоной интенсивной трещиноватости и дробления.

Таким образом, на примере этой скважины проиллюстрирована целесообразность и эффективность комплексирования методов электроразведки и сейсморазведки при изучении очаговых зон ПЯВ. В совокупности такое комплексирование позволило не только оценить размеры и глубину области интенсивной трещиноватости, но и установить факт поствзрывной обводненности этой зоны.

Приведенные результаты исследований свидетельствуют о высокой информативности пара-



А. Вертикальный разрез поля ЭРВ с элементами интерпретации по данным сейсморазведки МДРВ



Б. Вертикальный разрез изоом с элементами интерпретации по данным электроразведки ЗСБ

Рис. 3. Участок Балапан. Оценка поствзрывной нарушенности (А) и обводненности (Б) очаговой зоны в блоке скважины 1388.
1 - внешний контур механического воздействия ПЯВ на геологическую среду; 2 - зона максимальной трещиноватости и дробления пород в районе гипоцентра ПЯВ; 3 - обводненная область трещиноватости по данным электроразведки ЗСБ; 4 - эпицентр (а) и гипоцентр (б) ПЯВ; 5 - изолинии энергии рассеянных (дифрагированных) волн в у.е.; 6 - изолинии электрического сопротивления в Ом-м

метров электрического сопротивления и скорости упругих волн при картировании трещинных водонасыщенных структур в породах скального фундамента участка Балапан.

На основании данных по глубинным особенностям вещественного состава разреза и его обводненности по линии профиля 6 показаны наиболее вероятные негативные изменения геоэко-

логической обстановки, связанные с возможностью газогенерации углефицированных пород и радионуклидным загрязнением геологической среды при разрушении обводненных полостей. Комплексное использование этих параметров обеспечивает повышение достоверности выявления и изучения очаговых зон ПЯВ.

В целом следует отметить, что обоснованный комплекс методов вполне достаточен для решения задачи картирования водонасыщенных трещинных структур тектонического и техногенного происхождения в породах фундамента, как возможных каналов миграции радионуклидов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Учет внешних воздействий природного и техногенного происхождения на ядерно- и радиационно опасные объекты. ПНАЭ Г-05-035-94. Москва, 2000.

2. Нормы проектирования сейсмостойких атомных станций. ПНАЭ Г-5-006- 87 Москва. Энергоатомиздат, 1989.

3. Методы геофизики в гидрогеологии и инженерной геологии. – М.: Недра, 1985. 184с. (Всесоюзный научно-исследовательский институт гидрогеологии и инженерной геологии).

4. Огильви А.А. Основы инженерной геофизики: Учеб. для вузов / Под редакцией В.А. Богословского. – М.: Недра, 1990, – 500 с.: ил.

5. Приложения к паспортам скважин ПЯВ. Архивы ИГИ. 2005-2007 г.

6. Адушкин В.В., Спивак А.А. Изменение свойств горных пород и массивов при подземных ядерных взрывах. Физика горения и взрыва. 2004. т. 40. №6. С.15-24.

7. Садовский М.А., Адушкин В.В., Спивак А.А. О размерах зон необратимогодеформирования при взрыве в блочной среде. // Физика Земли. 1989. № 9. С. 9-15.

8. Геофизические методы исследования земной коры. В.К. Хмелевской (Международный университет природы, общества и человека «Дубна»). Международный университет природы, общества и человека «Дубна», 1997 г.

9. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых (петрофизика). Справочник геофизика/Под ре. Н.Б. Дортман, – 2 изд.,перераб. и доп. М.: Недра, 1984, 455 с.

10. Старобинец А.Е. Выделение и интерпретация дифрагированных и квазидифрагированных волн. – М.: Недра, 1988.

11. Шапиро С. А., Файзуллин И. С. О затухании сейсмических волн в горных породах как в дискретных рассеивающих средах//Известия АН СССР/Физика Земли, 1986. – № 9. – С. 56-63.

12. Файзуллин И. С., Чиркин И. А. Сейсмоакустические методы изучения трещиноватости горных пород // Геоинформатика, 1998 – № 3.