РАЗДЕЛ I. ГЕОТЕРМАЛЬНАЯ ВУЛКАНОЛОГИЯ (МАГМАТИЧЕСКИЕ И МАГМО-ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ, МАГМАТОГЕННЫЕ И ЭПИТЕРМАЛЬНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ, ТРУБКИ ВЗРЫВА)

CHAPTER I. GEOTHERMAL VOLCANOLOGY (MAGMATIC AND MAGMATIC-HYDROTHERMAL SYSTEMS, MAGMATOGENIC AND EPITHERMAL FIELDS, MAAR-DIATREME VOLCANOES/EXPLOSION PIPES)

УДК 550.832.2:550.36(571.66)

Выделение элементов геологической модели Мутновского парогидротермального месторождения по данным стандартного комплекса ГИС

Т.С. Баранов[1], Э.К. Хмарин[1,2], М.А. Степанов[1]

[1]АО «Зарубежнефть», г. Москва, Россия
tbaranov@nestro.ru
[2]ООО «ЗН Геотерм», (АО «Зарубежнефть»), Москва, Россия

Собрана цифровая геолого-геофизическая база данных Мутновского парогидротермального месторождения. Оцифрованы архивные планшеты ГИС, литологические описания, стратиграфические отбивки, интервалы предполагаемых зон притоков и сведения о результатах бурения. Исходные скважинные данные сопоставлены с концептуальными представлениями о строении геотермальной системы и результатами площадных магнитотеллурических исследований. По данным стандартного комплекса ГИС сформированы предварительные критерии выделения элементов геологической модели: предполагаемой зоны покрышки, подошвы флюидоупора и кровли резервуара. Результаты требуют подтверждения керном, промыслово-геофизическими наблюдениями и расширенным комплексом ГИС при последующем бурении.

Identifying Elements of the Mutnovsky Geothermal Reservoir Using Standard Well Logs

Timofey S. Baranov[1], Eduard K. Khmarin[1,2], Mikhail A. Stepanov[1]

[1]Zarubezhneft JSC, Moscow, Russia
[2]ZN Geotherm LLC (Zarubezhneft JSC), Moscow, Russia

A digital geological and geophysical database was compiled for the Mutnovsky geothermal field. Archival well logs, lithological descriptions, stratigraphic markers, assumed feed-zone intervals and drilling data were digitized. Standard well-log responses were compared with the conceptual model and magnetotelluric data. Preliminary criteria are proposed for identifying a possible cap-rock interval, the base of the fluid seal and the underlying reservoir zone. The results require verification by core studies, production logging and an advanced open-hole well logging suite.

Введение

Мутновское парогидротермальное месторождение расположено в Елизовском районе Камчатского края, примерно в 80 км от г. Петропавловска-Камчатского, у северных склонов действующего вулкана Мутновский. По данным фондовых материалов, на месторождении пробурено порядка 100 скважин, однако материалы каротажа доступны только по ограниченной части фонда скважин [1].

Ранее для изучения глубинного строения месторождения выполнялись площадные магнитотеллурические исследования, по результатам которых построена трёхмерная геоэлектрическая модель [2]. МТЗ характеризует крупные геоэлектрические неоднородности, тогда как детальное выделение границ флюидоупора и продуктивных интервалов возможно только при анализе скважинных данных.

Вулканогенные геотермальные системы отличаются высокой латеральной и вертикальной неоднородностью лавовых, пирокластических, интрузивных и гидротермально изменённых пород; аналогичные проблемы корреляции разрезов описаны для месторождения Salak в Индонезии [3]. Несмотря на отдельные работы по применению стандартного комплекса ГИС на Дачном участке [4, 5], для Мутновского резервуара отсутствует целостная интерпретационная модель, связывающая каротажные признаки с литологией, гидротермальной изменённостью, трещиноватостью и продуктивностью. Цель работы – систематизировать архивные скважинные материалы и сформировать предварительные критерии выделения элементов геологической модели по данным стандартного комплекса ГИС.

Исходные данные и ограничения интерпретации

В работе оцифрованы архивные планшеты ГИС по 19 скважинам, для которых доступны кривые каротажа кажущегося сопротивления (КС), самопроизвольной поляризации (ПС), гамма-каротажа (ГК) и термометрии. Материалы сопоставлены с литологическими описаниями, стратиграфическими отбивками, зонами интрузий, интервалами предполагаемых притоков и потерями циркуляции при бурении.

КС, ПС и ГК позволяют выполнять качественное расчленение разреза, но не обеспечивают однозначного перехода от каротажных признаков к количественным параметрам резервуара: эффективной пористости, трещиноватости и проницаемости. Прямая увязка скважинных признаков с МТЗ и керном ограничена различием масштабов методов, неполнотой архивных данных и отсутствием непрерывной керновой калибровки. Поэтому стандартный комплекс ГИС используется как источник предварительных признаков для выделения зоны покрышки, подошвы флюидоупора и предполагаемой кровли резервуара.

Анализ данных ГИС

Анализ диаграмм ГК показал возможность выделения каротажных признаков, связанных с элементами концептуальной модели геотермального резервуара. По характеру изменения кривой ГК условно выделяются три интервала (рис. 1): верхняя зона пониженных значений ГК, интерпретируемая как интервал высокопористых туфовых разностей; переходная зона повышенных и изменчивых значений ГК, предположительно связанная с интенсивной гидротермальной переработкой и аргиллизацией пород; нижележащая зона более устойчивых значений ГК, рассматриваемая как предполагаемая зона резервуара.

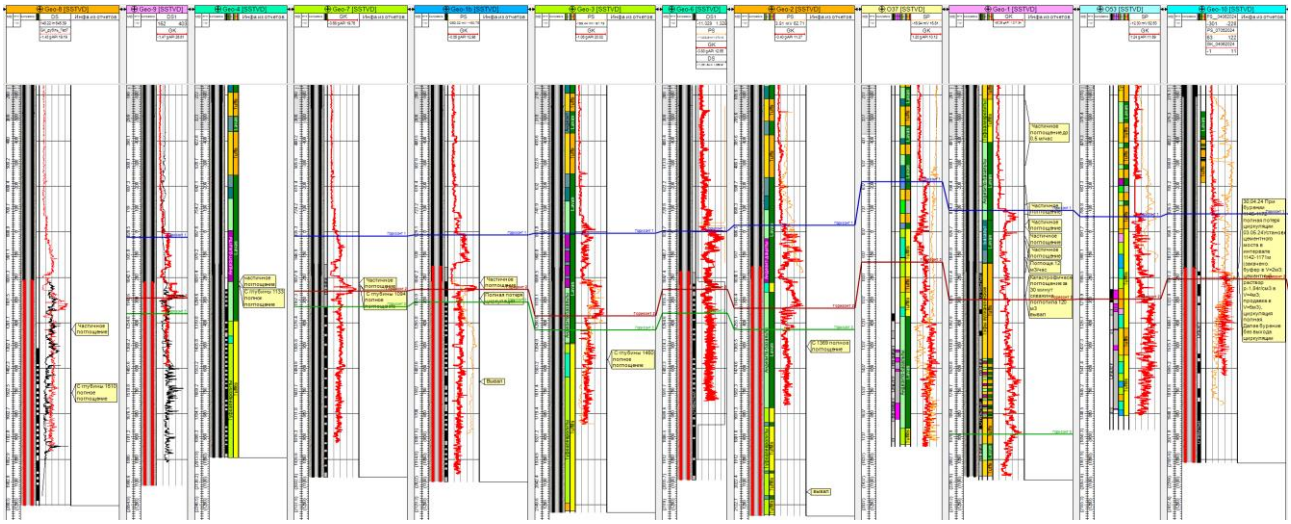


Рисунок 1 – Корреляционная схема по скважинам с результатами бурения

Переходная зона рассматривается как возможный элемент флюидоупора, ограничивающего верхнюю часть продуктивного резервуара. Косвенным аргументом служит положение интервалов поглощений при бурении: они, как правило, фиксируются ниже зоны интенсивной изменчивости ГК. Поэтому выделенная граница может использоваться как предварительный прогноз подошвы флюидоупора и ориентир для прогноза кровли продуктивной части резервуара.

Сопоставление с данными МТЗ

Для независимой проверки выполнено сопоставление выделенных по ГК зон с результатами МТЗ. По данным [2], геоэлектрическая модель отражает распределение крупных низкоомных и высокоомных областей. В геотермальных системах низкоомные зоны часто связываются с гидротермально изменёнными породами, глинистыми минералами и флюидонасыщенными интервалами, однако их интерпретация должна учитывать масштаб и разрешающую способность метода.

Сопоставление показывает качественное соответствие между выделенными по скважинам границами и положением низкоомного горизонта по МТЗ (рис. 2). Это не является прямым совпадением геологических границ: МТЗ характеризует интегральное распределение сопротивления в объёме пород с разрешением порядка сотен метров, тогда как ГИС отражает строение разреза вблизи ствола скважины. Тем не менее, качественная корреляция поддерживает интерпретацию переходной зоны как возможной зоны покрышки.

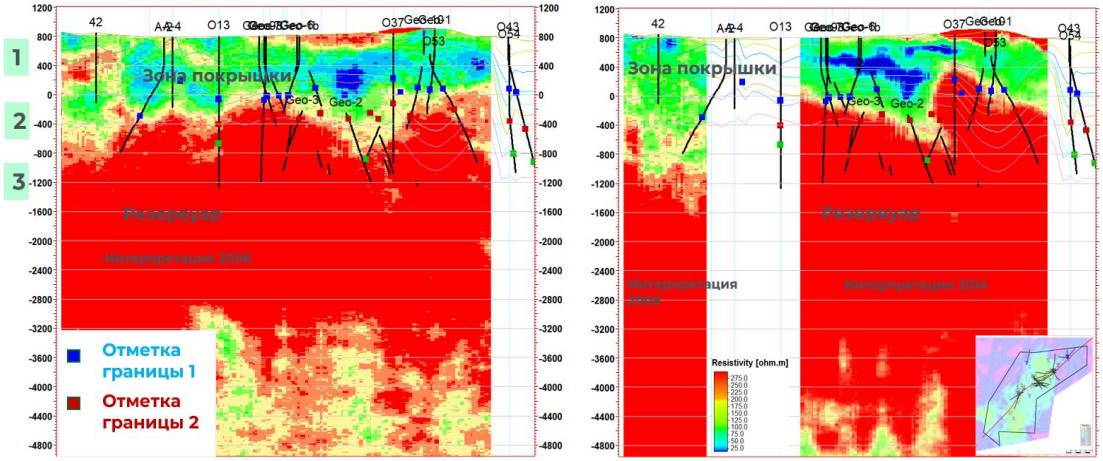


Рисунок 2 – Сопоставление выделенных по скважинам зон и данных МТЗ

Карта подошвы флюидоупора

На основе выделенных по ГК границ построена предварительная карта подошвы флюидоупора (рис. 3). Скважинные данные доступны преимущественно для северной части месторождения; на участках без прямых скважинных ограничений использован тренд, согласованный с картой подошвы низкоомного горизонта по МТЗ. Полученная поверхность является интерпретационной: она объединяет скважинные признаки, данные бурения и площадные геоэлектрические ограничения и может применяться как рабочий инструмент для сопровождения бурения и прогноза кровли резервуара.

Необходимость расширенного комплекса ГИС

Стандартный комплекс ГИС позволяет сформировать предварительную схему строения резервуара, но не обеспечивает необходимой детализации для уверенного выделения литологических комплексов, зон гидротермального изменения, интервалов дробления и потенциальных зон притока. Для перехода от качественного выделения зон к параметрической модели резервуара необходимы новые данные расширенного комплекса ГИС, керна и испытаний. Их совместная интерпретация позволит уточнить литологическое расчленение, межскважинную корреляцию, геологические элементы резервуара и закономерности их пространственного распределения.

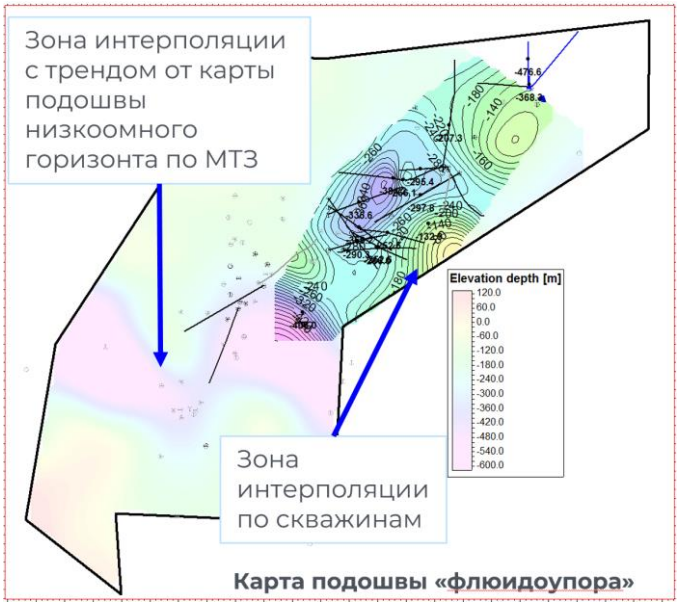


Рисунок 3 – Предварительная карта подошвы флюидоупора

Выводы

1. Собрана и систематизирована цифровая геолого-геофизическая база данных по скважинам Мутновского парогидротермального месторождения, включающая архивные материалы ГИС, литологические описания, стратиграфические отбивки, интервалы интрузий, зоны дробления и данные бурения.

2. По данным ГК условно выделены верхняя зона туфовых разностей, переходная зона гидротермально изменённых пород и нижележащая предполагаемая зона резервуара.

3. Переходная зона повышенных и изменчивых значений ГК может рассматриваться как возможный элемент покрышки, или флюидоупора; положение поглощений ниже этой зоны является косвенным аргументом в пользу её экранирующей роли.

4. Качественное сопоставление с МТЗ показывает согласование выделенных по ГИС границ с положением низкоомного горизонта, однако из-за различия масштабов методов не является окончательным подтверждением.

5. Построенная поверхность подошвы флюидоупора может использоваться для сопровождения бурения и предварительного прогноза кровли резервуара, но требует уточнения по новым скважинам и расширенному комплексу ГИС.

Список литературы

1. *Блукке П.П.* Отчет о результатах предварительной разведки на участке Дачном Мутновского месторождения парогидротерм с подсчетом запасов теплоносителя для обоснования проекта строительства первой очереди геотермальной электростанции мощностью 50 МВт / *П.П. Блукке, Г.М. Асаулов, Н.П. Асаулова, С.В. Остапенко* // ПГО «Сахалингеология». 1987. 5500 с. Фондовый отчет.

2. *Нурмухамедов А.Г.* Трехмерная геоэлектрическая модель Мутновского месторождения парогидротерм / *А.Г. Нурмухамедов, И.И. Чернев, Д.А. Алексеев, А.Г. Яковлев* // Физика Земли. 2010. № 9. С. 15–26.

3. *Ganefianto N.* Geologic Modeling Workflow for Volcanic Hosted Geothermal Reservoirs: Case Study from Salak Geothermal Field / *N. Ganefianto, J. Stimac, L. Sirad-Azwar, R. Pasikki* // Proceedings, 41st Workshop on Geothermal Reservoir Engineering. Stanford University. 2016.

4. *Павлова В.Ю.* Геологическое строение геотермального резервуара – участок Дачный – Мутновского месторождения парогидротерм по данным гамма-каротажа скважин // Молодой ученый. 2009. № 9 (9). С. 40–42.

5. *Павлова В.Ю.* Уточнение геологического строения Дачного участка Мутновского месторождения парогидротерм по данным интерпретации геофизических исследований в скважинах // Молодой ученый. 2010. № 8 (19). Т. 1. С. 194–201.