

РОССИЯ, 121614, Москва, ул. Крылатские холмы, 32/3

e-mail: radionda@radionda.ru



Создана в 1992

Исх. № 017/Н от 05.03.2020г.
На № _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ:

Генеральный директор

ООО «Радионда», к.т.н.

 В.А. Истратов

« 05 » марта 2020 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Общества с ограниченной ответственностью «Радионда»
на диссертационную работу Легавко Дмитрия Александровича
«СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИЧЕСКИХ ПРИЁМОВ РЕГИСТРАЦИИ И
ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ КАРОТАЖА СКВАЖИН ПРИ ОТРАБОТКЕ
ИНФИЛЬТРАЦИОННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УРАНА»,
представленную на соискание учёной степени
кандидата технических наук по специальности
25.00.10. – Геофизика, геофизические методы поисков
полезных ископаемых

Диссертационная работа Д.А. Легавко посвящена совершенствованию методического, программного и аппаратного комплекса геофизических исследований в скважинах на инфильтрационных месторождениях урана, обрабатываемых способом скважинного подземного выщелачивания (СПВ). При разработке таких гидрогенных месторождений способом СПВ, добыча металла происходит только из пластов, в которые проникает технологический раствор. При больших объемах технологического бурения (по 100 - 150 скважин на один блок) провести литологическое расчленение разреза по отобранному керну, тем более на рабочих интервалах водонасыщенных песков, практически невозможно. Поэтому подсчет запасов на таких месторождениях включает оконтуривание рудного тела по бортовому содержанию урана, определяемому методом гамма-каротажа, а выявление в нем проницаемых областей, доступных для обработки окислителем, осуществляется методами электрокаротажа.

В силу этих особенностей, геофизические исследования скважин в урановой геологии имеют исключительную важность, а любая научная разработка, позволяющая повысить точность, надежность и оперативность получения необходимой информации, приобретает практическую значимость для развития отрасли. Вышесказанное определяет **актуальность** рассматриваемой диссертационной работы.

Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения, двух приложений и списка литературы. Рукопись содержит 141 страницу текста, 51 рисунок и 5 таблиц. Рисунки отличного качества, многие выполнены в цвете, что существенно улучшает восприятие материала. Список литературы насчитывает 21 наименование (список пронумерован). Диссертация написана в хорошем стиле, понятным языком.

Введение состоит из 5 страниц и в нем представлены рубрики, в которых согласно требованиям ВАК обсуждаются: актуальность темы, цели и задачи, научная новизна, вклад автора и другие важные показатели научной работы. Здесь представлены три защищаемых положения. Защищаемые положения в целом удовлетворяют требованиям ВАК по новизне и обоснованности. По теме

диссертации опубликовано 7 печатных работ, из которых 4 в рецензируемых изданиях ВАК КР. Различные разделы диссертации докладывались на российских и международных конференциях.

Заявленными целями исследования являются:

1. Анализ существующих методических решений, применяемых при литологическом расчленении разреза рудного горизонта и определении фильтрационных характеристик пород по комплексу методов электрокаротажа. Разработка методики и программного обеспечения для автоматизированной обработки данных электрокаротажа с литологической интерпретацией и получением «попластовых» значений коэффициента фильтрации пород.

2. Анализ существующих методик автоматизированной интерпретации данных гамма-каротажа для выявления причин систематического занижения расчетных извлекаемых запасов на инфильтрационных месторождениях урана. Разработка методических дополнений к существующей методике и программного обеспечения для автоматизированной интерпретации данных гамма-каротажа с повышенной точностью определения извлекаемых запасов урана.

3. Разработка нового поколения скважинных приборов и наземного каротажного регистратора с целью повышения надежности измерительной аппаратуры, улучшения ее метрологических характеристик и качества измерений.

4. Разработка современного программного комплекса для автоматизированного проведения и обработки результатов геофизических исследований скважин, сооружаемых на всех этапах геолого-технологического процесса: при поисках, разведке и эксплуатации урановых месторождений.

5. Экспериментальное опробование разработанного аппаратного, методического и программно-математического обеспечения на действующих месторождениях уранодобывающих предприятий.

Результаты выполненных исследований отражены в трех защищаемых положениях, которые соответствуют следующим пунктам паспорта специальности 25.00.10 – «Геофизика, геофизические методы поиска полезных ископаемых» отрасли наук – «Технические науки»:

- пункту 14 – «Методы обработки и интерпретации результатов измерения геофизических полей»;
- пункту 15 – «Компьютерные системы обработки и интерпретации геолого-геофизических данных»;
- пункту 17 – «Мониторинг геологического строения и разработки месторождений геофизическими методами»;
- пункту 19 – «Измерительная техника, средства, технологии, системы наблюдений и сбора геофизических данных; геофизические излучающие и измерительные системы»;
- пункту 23 – «Теория, технические средства, технологии, методы сбора и интерпретации каротажной информации, геолого-технологических исследований скважин, геофизических методов исследования технического состояния скважин, вскрытия пластов в скважинах»;
- пункту 24 – «Контроль разработки месторождений полезных ископаемых по данным наземных и скважинных геофизических исследований».

Работа посвящена модернизации и совершенствованию программно-аппаратного комплекса каротажных исследований урановых месторождений СПВ, разработанным автором новым модификациям и надстройкам к существующим методикам интерпретации данных электро- и гамма-каротажа скважин, расчета фильтрационных параметров пород рудного горизонта и запасов в них урана.

Содержание исследований по заявленным направлениям изложены в пяти главах диссертации. *Первая глава* содержит выполненный Д.А. Легавко анализ современного состояния проблемы, в котором достаточно адекватно перечислены и охарактеризованы существующие методы геофизических исследований скважин урановых месторождений, выделены и обсуждены слабые места скважинной и наземной геофизической аппаратуры, недостатки программного обеспечения для регистрации и интерпретации данных, влияющие на точность и достоверность результатов каротажных исследований. Вывод о необходимости совершенствования методического и программного обеспечения интерпретации

данных электро- и гамма-каротажа и разработки автоматизированного программно-аппаратного комплекса проведения каротажных исследований достаточно обоснован.

Вторая глава посвящена электрокаротажу. Здесь достаточно подробно рассмотрена существующая методика применения электрокаротажа на месторождениях урана СПВ, проанализированы и показаны её недостатки и ограничения, сложности применения. Представлена идеология, методические приемы и алгоритмы, позволяющие решать задачу автоматизированной интерпретации данных электрокаротажа для литологического расчленения разреза продуктивного горизонта и определения значений коэффициента фильтрации выделенных пластов. Подробно описана методика построения корреляционной зависимости между коэффициентом фильтрации пород рудного горизонта и нормированным геофизическим параметром, на основе гранулометрического анализа керна и её уточнения с использованием данных гидрогеологических исследований и электрокаротажа технологических скважин. Приведен разработанный автором алгоритм автоматической интерпретации диаграмм электрокаротажа. Описаны основные интерфейсные решения, примененные при разработке программы, позволяющие быстро и эффективно производить расчленение разреза рудного горизонта на заданное количество литотипов пород с определением коэффициента фильтрации выделенных пластов. Здесь же приведены результаты экспериментального опробования методики и программного обеспечения автоматизированной интерпретации на примере данных по основному рудовмещающему горизонту месторождения Канжуган, расположенного в южном Казахстане и являющегося типичным представителем урановых месторождений инфильтрационного типа. Содержание главы хорошо проиллюстрировано блок-схемой методики построения и корректировки зависимости, графиками зависимостей, рисунками, поясняющими алгоритм автоматизации литологической интерпретации, и отражено в публикациях [Легавко А.В., Легавко Д.А., 2011; Легавко А.В., Легавко Д.А., 2015; Легавко Д.А.,

2018]. Первое защищаемое положение отвечает содержанию этой главы.

В третьей главе проанализирована существующая инструктивная методика и алгоритм автоматизированной интерпретации данных гамма-каротажа [Хайкович и др., 1987] с целью выявления причин систематического занижения расчетных извлекаемых запасов на инфильтрационных месторождениях урана. Сделан вывод о том, что возникновение систематической ошибки маловероятно на первом этапе интерпретации – пересчете интенсивности гамма-излучения в значения концентрации радия вдоль ствола скважины, но весьма вероятно на этапе определения границ рудных интервалов в связи с исключением из подсчета запасов урана, содержащегося в условно безрудных пропластках, разделяющих рудные интервалы. Показана необходимость проведения дополнительного морфологического объединения рудных интервалов применительно к конкретным геологическим и технологическим условиям инфильтрационных месторождений. Описана методика морфологического объединения и алгоритм вычислительных процедур, направленных на формирование объединенных рудных интервалов. Описаны основные интерфейсные и алгоритмические решения, примененные при разработке программы автоматизированной интерпретации гамма-каротажа, позволяющие повысить точность определения извлекаемых запасов урана на месторождениях инфильтрационного типа. Здесь же приведены обобщенные результаты экспериментального опробования методики морфологического объединения и программного обеспечения автоматизированной интерпретации, полученные в типичных скважинах на разных инфильтрационных месторождениях. Содержание главы хорошо проиллюстрировано блок-схемой алгоритма морфологического объединения, рисунками, поясняющими алгоритм автоматизированной интерпретации гамма-каротажа, и отражено в публикациях [Ференцев А.А., Легавко Д.А., 2002; Легавко А.В., Легавко Д.А., 2017]. Второе защищаемое положение отвечает содержанию этой главы.

Четвертая глава имеет важное прикладное значение. В ней описан разработанный усовершенствованный аппаратный и программно-методический

комплекс для проведения измерений, регистрации и интерпретации геофизических исследований скважин на инфильтрационных месторождениях урана. Комплекс включает линейку скважинных приборов, каротажный регистратор, программное обеспечение для проведения каротажных измерений и программное обеспечение для интерпретации их результатов. Линейку скважинных приборов составляют радиометры, электродонды КС, термометр, резистивиметр, прибор индукционного каротажа. Приборы отличаются стабильностью метрологических характеристик, высокой надежностью и хорошей ремонтпригодностью. Каротажный регистратор построен на промышленных электронных компонентах, оснащен мощным источником питания, обеспечивает повышенное качество регистрации геофизических сигналов при очень высокой надежности и одновременном снижении эксплуатационных требований. Для реализации расширенного функционала каротажного регистратора Легавко Д.А. разработан современный программный комплекс для проведения каротажных измерений и регистрации результатов. Программное обеспечение позволяет проводить широкий спектр ГИС различными типами скважинных приборов, обеспечивает высокую точность и повышенную степень автоматизации каротажных работ. На основе методики автоматизированной интерпретации данных электрокаротажа, и методических дополнений к инструктивной методике автоматизированной интерпретации данных гамма-каротажа, Легавко Д.А. разработан программно-методический комплекс позволяющий осуществлять оперативную автоматизированную интерпретацию данных электро- и гамма-каротажа с минимальным участием со стороны оператора и повышенной точностью определения количественных параметров. Содержание главы достаточно хорошо проиллюстрировано изображениями аппаратуры и скриншотами элементов программного комплекса. Результаты работы, представленные в этой главе, отражены в публикациях [Легавко А.В., Легавко Д.А., Василенко С.Н., 2014; Легавко Д.А., 2019] и им отвечает третье защищаемое положение.

В пятой главе приводится краткое описание опыта использования, разработанного при непосредственном участии Легавко Д.А., усовершенствованного аппаратного и программно-методического комплекса и отдельных его элементов разведочными и добывающими предприятиями для решения задач геофизического сопровождения разведки и отработки месторождений урана. Здесь перечислены предприятия России и стран СНГ с указанием перечней обслуживаемых ими месторождений и списков используемых ими элементов комплекса. Использование элементов комплекса подтверждено актами о внедрении результатов диссертационной работы АО «Русбурмаш» и ГП НГМК (Приложения диссертации А, Б). Также приведен опыт работ АО «Русбурмаш» на участках детальной разведки уранового месторождения «NYOTA», расположенного на территории Объединенной Республики Танзания. Целью этих работ было обоснование возможности применения Российской методики изучения радиологических характеристик руд и интерпретации данных гамма-каротажа, для количественной оценки запасов в сложных радиологических условиях месторождения. Геофизические исследования скважин выполнялись параллельно специалистами АО «Русбурмаш», с использованием усовершенствованного аппаратного и программно-методического комплекса и при непосредственном участии Легавко Д.А., и специалистами компании Mantra Tanzania Ltd на австралийском оборудовании по методике принятой в компании. В результате проведенных работ и сопоставления результатов геолого-геофизических исследований было убедительно доказано, что применяемые компанией Mantra Tanzania Ltd аппаратура и методика проведения гамма-каротажа и интерпретации его результатов не позволяет избавиться от значимых систематических погрешностей при определении мощности и содержания урана в рудных интервалах. Одновременно подтверждена возможность и эффективность применения Российской методики изучения радиологических характеристик руд, аппаратного и программно-методического обеспечения проведения и интерпретации данных гамма-каротажа. Результаты этих работ представлены в



отчете АО «Русбурмаш» [Овсов В.К. и др., 2013]. Содержание пятой главы отвечает всем трем защищаемым положениям.

Заключаем, что все защищаемые положения диссертации обоснованы достаточным аналитическим обзором, реализованы в конкретных методических и технических решениях, разработанных программных средствах и подтверждены фактическим материалом экспериментальных и производственных работ.

Актуальность темы выполненной работы связана с развитием и совершенствованием технологии, методики, аппаратного и программного обеспечения регистрации и интерпретации данных геофизических исследований скважин, сооружаемых при отработке месторождений урана методом подземного выщелачивания. Каротажные исследования являются одним из важнейших элементов геолого-геофизического сопровождения добычи урана методом подземного выщелачивания. Их данные – практически единственная достоверная основа для расчета запасов урана и проектирования оптимальных систем вскрытия рудных тел. Огромные объемы геофизических исследований скважин на добывающих предприятиях, строгие ограничения времени, выделяемого на регистрацию и обработку данных и высокая значимость их результатов требуют максимально возможной автоматизации процессов регистрации и интерпретации.

Результаты работы Легавко Д.А., позволяющие существенно повысить оперативность получения и качество результатов регистрации и интерпретации данных геофизических исследований скважин, несомненно, являются актуальными.

Научная значимость результатов диссертационных исследований, полученных автором, связана с решением ряда методических проблем, возникающих при попытках автоматизации процесса количественной интерпретации данных геофизических исследований скважин. В результате выполненных автором исследований были выявлены важные корреляционные зависимости между искомыми физическими характеристиками пород и измеряемыми геофизической аппаратурой параметрами. Это позволило автору разработать:

- методику автоматизированной интерпретации данных электрокаротажа, позволяющую достаточно успешно решать задачу литологического расчленения песчано-глинистого разреза с получением послойных значений коэффициента фильтрации пород для конкретных геоэлектрических условий;

- методические дополнения к существующей методике автоматизированной интерпретации данных гамма-каротажа, программная реализация которых позволяет повысить точность подсчета извлекаемых запасов урана применительно к месторождениям инфильтрационного типа.

Практическая значимость работы заключается не только в повышении точности определения запасов урана инфильтрационных месторождений и коэффициентов фильтрации рудовмещающих пород, но и в разработке современного программно-аппаратного комплекса проведения геофизических исследований скважин и интерпретации результатов, отличающегося высокой степенью автоматизации регистрационных и интерпретационных процессов, широким функционалом, надежностью и технологичностью. Важно, что разработки автора позволяют существенно повысить оперативность проведения и качество геофизических исследований скважин инфильтрационных месторождений урана. Это подтверждается широким использованием различных элементов разработанного программно-аппаратного комплекса разведочными и уранодобывающими предприятиями России, стран СНГ и дальнего зарубежья.

Замечания по работе не носят принципиального характера. Однако, необходимо отметить следующие недостатки:

1. В диссертационной работе автор неоднократно подчеркивает, что на большинстве разрабатываемых месторождений урана применяется геофизическая аппаратура с устаревшими радиотехническими и конструктивными решениями, выполненная с «кустарным мелкосерийным производством, которое не соответствует метрологическим стандартам» (стр. 6, 21 и др.). При этом автор, к сожалению, не уточняет технических характеристик применяемой «устаревшей» аппаратуры и ее конкретных конструктивных недостатков. Тоже касается и

наземной регистрирующей аппаратуры (в качестве примера приводится только устаревший каротажный регистратор БСК).

2. Подобное же замечание касается и утверждений автора относительно программного обеспечения. При этом, нигде в тексте не указаны альтернативные регистрирующие и интерпретационные программы, применяемые на урановых месторождениях. Кроме этого, автор указывает и на то, что основные интерпретационные процедуры зачастую осуществляются в ручном режиме, но также не уточняет какие именно.

3. Как одна из задач программного комплекса – автоматизация процесса интерпретации и увеличение точности расчетов за счет снижения субъективизма обработчика (стр. 34) «корректность результата зависит от произвола интерпретатора (стр. 44)». Однако описанные авторские методики так или иначе также подразумевают участие интерпретатора (например, выбор граничных критериев по значениям K_f при разделении литотипов, выбор уровня $УЭС_{\max}$ по пачке наиболее проницаемых пород рудовмещающего горизонта для нормировки кривой K_C и т.д.). К сожалению, в работе недостаточно конкретных примеров сопоставления «ручной» и автоматической интерпретации данных.

4. Автором проведен анализ причин возможного систематического занижения запасов и сделан вывод о том, что, возможно, это происходит за счет исключения тонких рудных пропластков. И предложена оригинальная методика объединения рудных слоев на основе граничных значений по метропроценту и морфологическим особенностям. К сожалению, автор не приводит конкретные примеры сопоставления подсчета запасов с применением его методики по морфологическому объединению слоев и без нее. Стоит отметить, что подсчет запасов на инфильтрационных месторождениях урана осуществляется на плоскость, метод блоков (Шумилин, стр. 93), предполагающий по факту интерполяцию запасов по отдельным скважинам (точкам) в межскважинное пространство. Опыт действующих рудников и периодическое значительное недоизвлечение урана указывает на то, что рудные залежи, как морфологически, так и по содержанию урана могут быть достаточно далеки от наших

представлений, особенно в пространстве между отдельными скважинами. Сама суть применяемого метода подсчета запасов предполагает значительную неопределенность и широкий простор, как к занижению, так и увеличению фактического количества металла.

Тоже относится и к данным электрокаротажа. При слабой электрической контрастности пород разреза (от 10 до 50 Ом*м), дисперсия эмпирических данных достаточно большая и надежность определяемого таким способом критерия разделения «проницаемый-непроницаемый» - невысокая.

Поэтому, сделанные замечания не умаляют достоинств рассматриваемой диссертации, не меняют сути работы, не подвергают сомнению сформулированные в диссертации защищаемые положения, а в большей степени отражают сложность самой задачи - автоматизации измерений и, главное, количественной интерпретации данных ГИС при исследовании природных и технологических процессов, зависящих от большого числа факторов и геотехнологических условий. Представленная диссертационная работа Д.А. Легавко безусловно представляет собой заметный шаг вперед в решении этой задачи. Важным, на наш взгляд, является то, что эта работа по всем ее составляющим можно отнести к инновационным разработкам, выполненным в РФ.

В заключение отметим, что в целом, диссертационная работа Д.А. Легавко является завершенным исследованием, выполненным на высоком научном уровне и оформленным в соответствии с требованиями ВАК. Приведенные в работе результаты следует определить как новые, обоснованные и имеющие практическое и научное значение. Диссертация написана грамотно, аккуратно оформлена и проиллюстрирована качественным графическим материалом. В своей диссертации Д.А. Легавко продемонстрировал высокий уровень знания специальных вопросов геофизики, урановой геологии и программирования, а также свое умение использовать эти знания для решения конкретных научных и прикладных задач.

В автореферате диссертации в достаточной для понимания форме изложено содержание всех глав диссертации.

Диссертация соответствует критериям, установленным п. 9 Положения о присуждении учёных степеней (утверждено постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842) для учёной степени кандидата наук, а её автор Дмитрий Александрович Легавко достоин присуждения учёной степени кандидата технических наук.

Отзыв ведущей организации подготовлен на основании заключения структурного подразделения ООО «Радионда» – ООО «Радионда СПВ», основным направлением деятельности которого является внедрение технологии радиоволновой геоинтроскопии (РВГИ), обработка и интерпретация данных геофизических исследований скважин на месторождениях урана, обрабатываемых способом подземного выщелачивания.

Отзыв подготовили:

Заместитель генерального директора

ООО «Радионда СПВ», кандидат технических наук

Черепанов Артем Олегович



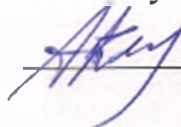
Черепанов А.О.

И.О. Фамилия

Заместитель генерального директора

ООО «Радионда», кандидат технических наук

Колбенков Алексей Викторович



Колбенков А.В.

И.О. Фамилия

Материалы диссертации были заслушаны и обсуждены на заседании Научно-методического совета ООО «Радионда СПВ» 25 февраля 2020 года.

Отзыв заслушан и обсужден на заседании Научно-методического совета ООО «Радионда», протокол заседания № 02 от 05.03.2020 года, и утвержден в качестве официального отзыва ведущей организации.



Сведения о ведущей организации:

Общество с ограниченной ответственностью "Радионда" (ООО «Радионда»),
адрес: Российская Федерация, 121614, г. Москва, ул. Крылатские Холмы, д. 32,
корп. 3, e-mail: radionda@radionda.ru, тел./факс: +7 (495) 415-96-55.

Подпись заместителя генерального директора ООО «Радионда СПВ»,
кандидата технических наук Черепанова Артема Олеговича и подпись заместителя
генерального директора ООО «Радионда», кандидата технических наук Колбенкова
Алексея Викторовича заверяю.

Главный специалист отдела кадров
ООО «Радионда»




_____ А.В. Артамонова