

УДК 551.243 553.79

РАЗВИТИЕ ИДЕЙ НАУЧНОЙ СТРУКТУРНО-ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ШКОЛЫ ПРОФ. В.М. СТЕПАНОВА В ОБОСНОВАНИИ МЕТОДОЛОГИИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ НА ГЛУБОКИЕ МЕТАЛЛОНОСНЫЕ РАССОЛЫ

А.Г. Вахромеев¹

Иркутский государственный технический университет, 664074, Россия. г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

Согласно систематизации гидрогеологических структур (по В.М. Степанову, 1989), обводненным разломам присвоен статус самостоятельного типа гидрогеологических структур. Обобщая результаты глубокого бурения и многолетних гидрогеологических исследований залежей и месторождений глубоких поликомпонентных промышленных рассолов осадочного чехла Сибирской платформы, автор подтверждает базовое концептуальное положение структурно-гидрогеологической школы своего учителя.

Библиогр. 17 назв. Табл. 1.

Ключевые слова: структурно-гидрогеологический анализ; аномально-высокое пластовое давление; аномальный трещинно-жильный и карстово-жильный коллектор; глубокие поликомпонентные промышленные рассолы.

DEVELOPMENT OF IDEAS ON JUSTIFICATION OF THE METHODOLOGY OF DEEP METAL-BEARING BRINE PROSPECTING BY PROF. V.M. STEPANOV'S STRUCTURAL AND HYDROGEOLOGICAL SCIENTIFIC SCHOOL

A.G. Vakhromeev

Irkutsk State Technical University, 83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia.

According to V. M. Stepanov's hydrogeological structure systematization (V. M. Stepanov, 1989), water-cut faults have the status of an independent type of hydrogeological structures. Having summarized the results of deep drilling and long-term hydrogeological researches of fields and deposits of deep multicomponent industrial brines of the Siberian platform sedimentary cover, the author confirms the basic conceptual provision of the structural and hydrogeological school of his teacher's.

17 sources. 1 table.

Key words: structural and hydrogeological analysis; abnormal high reservoir pressure; abnormal fracture-vein and karst-vein collector; deep multicomponent industrial brines.

Заведующий кафедрой гидрогеологии и инженерной геологии ИрГТУ, доктор геолого-минералогических наук профессор Вадим Михайлович Степанов не только повлиял на мое решение о выборе специальности, но именно после беседы с ним в 1978 году я подал документы на специальность «Гидрогеология». Слушая его рассказ о гидрогеологии, я чувствовал доброжелательность и внутреннюю уверенность, которая исходила от этого человека. Вадим Михайлович оказал серьезное влияние на формирование моих производственных интересов и научных взглядов, факти-

чески благословив меня на исследование глубоких горизонтов осадочного чехла платформы, особенностей строения пустотного пространства сложных пород-коллекторов, закономерностей формирования флюидных систем в осадочном чехле, ставших на многие годы областью моих научных интересов.

В годы моего обучения на кафедре Вадим Михайлович был моим научным руководителем. Хорошо помню свой первый доклад в Перми, на Всесоюзной студенческой конференции в 1981 г. о прогнозном водопитоке в горные выработки Рудногорского железорудного

¹Вахромеев Андрей Гелиевич, доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры нефтегазового дела, главный геолог ИФ «РН-Бурение», тел.: (3952) 798746, e-mail: VakhromeevAG@ifnrb.ru

Vahromeev Andrey, Doctor of Geological and Mineralogical sciences, Professor of the Department of Oil and Gas Business, Chief Geologist of RN-Drilling Company, tel.: (3952) 798746, e-mail: VakhromeevAG@ifnrb.ru

месторождения [2], отмеченный ценным подарком – двухтомником «Геологического словаря», который по сей день храню. С геологией я не расстанусь уже более 30 лет.

Добившись распределения на производство в опытно-методическую партию экспедиции ВСНИИГГиМС МИНГЕО СССР, я включился в интересную работу по испытанию гидрогеологических и углеводородных объектов в глубоких поисково-разведочных скважинах на нефть и газ на севере Иркутской области.

Через несколько лет полевых работ и сбора материалов мы с коллегами подготовили докладную записку на имя Министра геологии А.А. Козловского с предложением начать специализированные ГРП на новый для СССР тип литиевого сырья – промышленные поликомпонентные рассолы глубоких горизонтов в южных районах Сибирской платформы. По вине Министра специальная комиссия МИНГЕО СССР отработала в Иркутске, и дело закончилось постановкой тематических работ по оценке прогнозных ресурсов и выявлению перспективных участков. Мне предложили возглавить сектор гидроминерального сырья в институте, а через два года – организовать научно-производственное предприятие по разведке и разработке глубоких бромолитиевых рассолов. Объектом лицензирования недр коллегиально выбрали Знаменскую площадь, в 450 км от Иркутска, где в поисковой скважине на нефть и газ был получен фонтанный приток рассолов с дебитом около 7000 м³/сут, концентрацией брома 10 кг/м³ и лития 0,48 кг/м³ [3].

Соглашаясь на руководство поисково-разведочными работами, я понимал, что берусь за крайне рискованный проект. Разработка рекомендаций по выбору объекта ГРП, проектирование ГРП стадии поисков и предварительной разведки и финансирование работ должны опираться на геологическую,

гидрогеологическую идею, модель. От модели объекта, как от печки, будут спроектированы и виды работ, и этапность, и затраты. Поэтому, предлагая работы на новый минерагенический тип литиевого и бромного сырья, на глубокие металлоносные рассолы, играя роль инициатора, я сам должен был внятно представлять себе объект поисков, убедительно доказать инвестору возможность поисков залежи современными методами, предложить методологию ГРП, опираясь на комплексный подход и минимизацию затрат в первых, самых важных для инвестирования циклах.

Металлоносные рассолы глубоких горизонтов были изучены на региональном уровне, в основном по материалам попутных исследований глубоких скважин на нефть и газ. А перед нами стояла конкретная задача локального прогноза зон улучшенных коллекторов и ответственность за выдачу точек заложения глубоких скважин.

Возвращаясь к научной гидрогеологической школе Вадима Михайловича Степанова, подчеркну, что я взял за основу один из его постулатов: «... условия формирования подземных вод не могут быть поняты и правильно оценены без анализа развития геологических структур, как не может быть понят ни один геологический процесс без исследования поведения воды в Земной коре...» [1]. Именно в его систематизации гидрогеологических структур [1] обводненные разломы выделены как самостоятельный тип гидрогеологических структур и включают трещинно-жильные и трещинно-карстовые воды. Последний тип был достаточно детально описан им на примерах районов верхнего течения р. Лены и характеризовал трещинно-жильные подземные воды зоны свободного водообмена, солоноватые и соленые воды более глубокого заложения. Глубокие скважины с высокодебитными фонтанными притоками предельно насыщенных рассолов располагались

как раз на этой территории, но целевые объекты были вскрыты гораздо глубже по разрезу, до 1,8–2,5 тыс. м.

Априори нами была выдвинута следующая гипотеза: а) зоны трещиноватости могут служить индикаторами по отношению к зонам распространения вторичных улучшенных рассолонасыщенных коллекторов; б) размеры последних ограничены в разрезе мощностью карбонатных прослоев и генетически могут быть связаны с послонными субгоризонтальными срывами, а в плане занимать значительные территории; в) структурные формы, образованные в результате процессов проседания, обрушения как итог многоэтапного соляного и карбонатного карста, и наложенная активная трещиноватость отражают гидрогеологические структуры соответствующего масштаба [3, 4, 6].

Гипотеза укладывалась в геоструктурные построения по галогенно-карбонатной гидрогеологической формации и априори подтверждалась: а) прямыми методами – бурением, исследованием керна, замерами пластового давления и дебитов; б) косвенно – данными каротажа, площадной геофизики; в) гидродинамическими исследованиями, расчетно-фильтрационными моделями; г) локальными структурами – аналогами в других регионах со сходными палеоусловиями, например, на Русской платформе. Объект поиска был формализован как захороненный закарстованный многопластовый карбонатный массив или несколько субпластовых карбонатных горизонтов (формация) в разрезе галогенно-карбонатной толщи в пограничной зоне «платформа – краевой шов».

Этим условиям отвечала территория Ангаро-Ленского (Байкало-Патомского) прогиба в контурах Верхнеленской впадины, детально исследованной по результатам поискового колонкового бурения на калийные соли и глубокого бурения на углеводороды (Адамов, Цобин, Чечель, 1970; Жарков,

1965; 1973). Прогиб характеризуется размерами 1200 км на 300 км, а соленосная формация в пределах Верхнеленской впадины прослеживается на площади более 200 тыс. км². Дальнейшими гидрогеологическими исследованиями было установлено, что глубокие скважины по характеру рассолопроявлений, расчетным параметрам пласта, восстановлению давления, дебитам и коэффициенту водопроницаемости разделяются на две группы, отчетливо идентифицируемые по дебитам перелива [5]. Выделенные группы продуктивных скважин вскрывают две различные по проницаемости среды с единым пластовым давлением. Отличие – в фильтрационно-емкостных параметрах этих сред.

Первая среда приурочена к пластам (зонам) небольшой мощности с высокими значениями фильтрационных параметров, дренируя значительный объем продуктивного рассолоносного пласта, она – флюидоподводящая или перераспределяющая (Бузинов, Умрихин, 1973) и отнесена нами к категории «Аномальный коллектор» (АК) по параметру гидропроводности [6].

Вторая среда характеризует основной объем эффективной (проницаемой) части резервуаров продуктивных рассолоносных горизонтов галогенно-карбонатных отложений – «Нормальный» коллектор (НК) и низкие параметры проницаемости. Притоки к скважинам во второй среде незначительны. Сообщаемость двух сред АК и НК подтверждалась едиными значениями пластового давления, идентичностью химического состава рассолов и приуроченностью приточных интервалов к рассолоносным горизонтам – бильчирскому, осинскому, балыхтинскому и др.

Важнейшим площадным методом, картирующим «насыщение» коллектора в платформенных условиях на больших глубинах, является электроразведка ЗСБ. При минерализации рассолов 450–600 кг/м³ их электрическое сопротивление

ние менее 0,03 Ом·м. Геоэлектрическая модель рассолоносных зон характеризуется более низким сопротивлением за счет повышенной трещиноватости пластов и большего объема флюида, а контраст объектов по электрическим свойствам создает аномальный эффект. Это использовано как дополнительное признаковое пространство при формировании физико-геологической модели (ФГМ) рассолопроявляющего объекта [5, 6]. Нередко встречаются вытянутые проводящие структуры вдоль соляных валов и локальные ограниченные по латерали объекты. Например, зона пониженного продольного сопротивления на Знаменской площади (методы ЧЗ-ВП, ЗСБ) практически совпадает с областью ухудшения прослеживания сейсмических горизонтов.

Сходная картина повышенной электрической проводимости соленосной толщи получена при картировании территории Ковыктинского месторождения «зондированием становлением в ближней зоне» (ЗСБ) в районе скважин 3, 18, 52, 60, 61, 64, из которых в процессе бурения получены фонтанные притоки промышленных рассолов. Все аномально-приточные объекты в глубоких скважинах в пределах рассматриваемой территории пространственно совпадают с зонами ухудшения записи картины волнового поля и структурами проседания (компенсации), т.е. весьма характерными по сейсмогеологическим условиям локальными структурно-вещественными неоднородностями, а также уверенно картируются методами площадной электроразведки за счет повышенной проводимости пород-коллекторов.

На Знаменской площади были проведены работы ЗСБ, по материалам которых заложена и пробурена первая поисковая скважина на промышленные рассолы. Целенаправленно изучен крайне сложный объект гидрогеологических исследований – природно-техническая система «скважина – АК-

АВПД залежь», магниево-кальциевые рассолы с минерализацией 624 кг/м³, с дебитом перелива до 7000 м³/сут, коэффициентом аномальности пластового давления $k_{An} \sim 2,65$ на глубине 1820 м и давлением на устье скважины 18,7 МПа [6].

Анализ кривых восстановления давления (КВД) по приточным объектам галогенно-карбонатной гидрогеологической формации по характеру рассолопроявлений, расчетным параметрам пласта, восстановления давления, дебитам и коэффициенту водопроницаемости (kt) позволил уверенно выделить две группы. В первую, низкодебитную, попали скважины с нормальным, преимущественно поровым коллектором, во вторую – с аномально-проводящим. Значения параметров между группами различаются на 3–4 порядка независимо от метода расчета коэффициента водопроницаемости. Проверена гипотеза о соответствии фактических КВД модели Полларда и модели Уоррена-Рута. Отсутствие на графиках зависимости $P = f[t/(T+t)]$ двух параллельных прямых и переходного участка неустановившегося давления свидетельствует о несоответствии модели Уоррена-Рута поведению продуктивного пласта. В соответствии с моделью Полларда движение жидкости в пласте происходит в результате одновременного ее расширения в порах матрицы и трещинах [7]. Интерпретация КВД по модели Полларда дала удовлетворительный результат.

Эффективный контроль применения фильтрационной характеристики гидродинамическими методами предполагает использование адекватных фильтрационных моделей. Выполнено обоснование фильтрационной модели продуктивного пласта по КВД с использованием диагностических критериев [8]. По Б.С. Концанову (1980), И.М. Березюку, В.Г. Рейтенбаху (1982) фильтрационная модель выбирается из числа конкурирующих моделей с помощью диагностического критерия d , вычисля-

емого по кривой восстановления давления, причем для зонально-неоднородного пласта $d > 2,5$, для однородного пласта при фильтрации ньютоновской жидкости по закону Дарси $1,9 < d < 2,5$:

$$d = \frac{M_0 M_2}{M_1^2},$$

$$M_i = \int_0^{\infty} [P_{пл} - P_c(t)] t^i dt$$

где M_i ($i=0, 1, 2$) – детерминированный момент i -го порядка забойного давления $P_c(t)$.

Изложенный алгоритм использован нами для обработки кривых (КВД) эталонной скв. 3А Знаменской площади, полученных на разных этапах освоения продуктивного рассолоносного горизонта (зоны) в усольской свите, в интервале глубин 1818–1826 м. Результаты определения диагностического критерия таковы:

$$M_0 = 1457.68 \text{ МПа} \cdot \text{сек};$$

$$M_1 = 789248.65 \text{ МПа} \cdot \text{сек}^2;$$

$$M_2 = 1292284851.43 \text{ МПа} \cdot \text{сек}^3;$$

$$d = \frac{M_0 M_2}{M_1^2} = 3.024$$

Итак, результаты расчетов подтвердили модель «зонально-неоднородного пласта», одновременно подтверждая субпластовый характер фильтрационного поля. Это вполне согласовывалось с геолого-геофизическими данными, указывая на трещинно-карстовую, жильно-пластовую природу коллектора, и позволило перейти к обоснованию структурно-гидрогеологической модели изучаемых объектов. Как правило, простая гидрогеологическая структура или элементарная ячейка гидрогеологического пространства представлена сложным, смешанным типом коллектора (как поровым, каверновым, так и трещинным, трещинно-

карстовым типами). Оба типа связаны с вторичными процессами – наложенной трещиноватости, кавернообразования. Аппроксимация фильтрационной среды реализуется последовательно по принципу «вложения сред» или «двойной пористости» [7]. Предложенная нами модель предполагает, что в формировании геологических запасов промышленных рассолов галогенно-карбонатной гидрогеологической формации играет роль вся совокупность водопроводящих коллекторов как порового, так и трещинно-карстового, трещинно-жильного и карстово-жильного типов с преимущественной локализацией водовмещающей среды в пределах карбонатных пластов. Ресурсы (геологические запасы) рассолов заключены в резервуарах нормально-осадочных пород, в водоносных горизонтах с каверново-поровым и каверново-порово-трещинным коллектором (НК). Основные эксплуатационные запасы (извлекаемые ресурсы, в том числе и упругие запасы) локализованы в зонах межпластовых срывов (АК) и развитых по ним наложенных трещинно-жильно-пластовых коллекторов, в пустотном пространстве активизированного коллектора, в зонах разуплотнения, выщелачивания. При формировании эксплуатационных (извлекаемых) запасов главную роль будет играть наложенная фильтрационная матрица тектонического и карстового генезиса (АК), пространственное расположение которой обусловит дренирование пород залежи (НК) с дебитами, обеспечивающими рентабельность при добыче и переработке рассолов [6].

Не детализируя этапность выполненных гидрогеологических исследований, важно подчеркнуть, что методология, заложенная профессором В.М. Степановым на лекциях и семинарах, оказалась на практике весьма конструктивной. По итогам первых полевых и камеральных работ, включавших методы полевой геофизики, специальное глубокое

гидрогеологическое бурение и длительные опытно-фильтрационные работы, были получены новые данные, сформулированы модельные представления об объекте поисков [5, 6, 9]. Были изучены и впервые охарактеризованы условия и геодинамические обстановки формирования залежей предельно насыщенных рассолов Сибирской платформы [6, 10–13], обоснованы структурно-тектонические критерии локализации проницаемых коллекторов трещинно-жильного типа, о которых на лекциях рассказывал нам Вадим Михайлович Степанов. Найдены закономерности формирования и распределения в геологическом разрезе гидродинамически активных зон аномально-высоких пластовых давлений (АВПД); установлена взаимосвязь аномальных (по дебиту) притоков предельно насыщенных кальциевых рассолов (ПНР) и барических обстановок (АВПД). Выявлена генетическая взаимосвязь аномально-высоких концентраций растворенных солей (аномальная минерализация – АМ) и аномальных фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС). В области гидрогеологии глубоких предельно насыщенных рассолов нами установлено, что в зонах развития сложных трещинно-кавернозных, трещинно-жильно-пластовых коллекторов галогенно-карбонатных гидрогеологических формаций платформ формируются два типа фильтрационно-емкостной среды – нормальный (НК) и аномальный коллекторы (АК) и аномально-высокое пластовое давление. Доказано, что явление АК и АВПД в межсолевых карбонатных пластах зафиксировано в пределах развития складчато-надвиговых деформаций осадочного чехла и обусловлено: для АК – зонами активной субгоризонтальной трещиноватости (межпластовых срывов) и глубинным соляным и карбонатным карстом; для современных зон АВПД – передачей на флюидную систему определенной доли геостатического давления аллохтонных

пластин и толщи вышележащих пород в пределах мульды проседания [6, 10–13].

Изложенные модельные представления взяты нами за основу при схематизации граничных условий и подсчете прогнозных эксплуатационных запасов глубоких рассолов по промышленным категориям и для геолого-экономической оценки перспективных участков в качестве самостоятельного гидроминерального сырья. Аномально-проводящий жильно-пластовый коллектор на перспективных участках галогенно-карбонатной формации количественно охарактеризован именно на основе новых структурно-геологических представлений, развивающих научные идеи В.М. Степанова.

В итоге многолетних ГРР были защищены извлекаемые запасы глубоких рассолов по первому в России перспективному Знаменскому участку Верхнеленского месторождения поликомпонентных (бromo-магниеволитиевых) промышленных рассолов в Восточной Сибири.

Использование методологических подходов и идей научной школы профессора В.М. Степанова позволило нам впервые установить, что залежи и химический состав глубоких предельно насыщенных промышленных рассолов (ПНР) – флюидная система, которая формируется в земной коре в особых, четко идентифицируемых структурно-геологических условиях: геологических, геодинамических, флюидодинамических обстановках. Во-первых, аномальный коллектор характерен для геологически обусловленных интервалов средней, галогенно-карбонатной гидрогеологической формации осадочного чехла, и это важное отличие. Он субгоризонтален, изолирован солями и характеризуется АВПД. Во-вторых, АВПД как параметр четко характеризует гидродинамически локализованные в разрезе отдельные резервуары (рассолоносные трещинно-жильные зоны, трещинно-карстовые карбонатные гори-

зонты) галогенно-карбонатной толщи. И в-третьих, именно для этих интервалов галогенно-карбонатной толщи типичны аномальные значения минерализации и концентраций ценных элементов предельно насыщенного типа рассолов. Впервые установлена геолого-генетическая взаимосвязь трех основных факторов, характеризующих залежь глубоких промышленных рассолов: трещинно-пластово-жильного карбонатного коллектора, его барических характеристик и степени насыщения предельного по концентрации природного раствора солей [6].

Концентрированные рассолы глубоких горизонтов осадочного чехла платформы рассмотрены нами как флюидная геохимическая система, с функциями низкотемпературной гидротермальной рудоформирующей системы, предельно агрессивной к вмещающим породам и минералам, особенно в зонах активной трещиноватости, проницаемых интервалов, с широким развитием процессов дробления, милонитизации, увеличивающих на несколько порядков обменную поверхность в реакции «вода – порода» [14]. Рассматривая флюидную систему в аспекте растворитель-растворенное вещество, мы делаем акцент на «работу» растворителя в геохимическом (и флюидодинамическом) цикле *«растворение – эмиграция из породы – обогащение растворителя – перенос вещества – сброс на геохимическом барьере»*. Именно геологическая среда и ее важнейшие геологические параметры обеспечивают уникальность состава и свойств, «богатство» предельно насыщенных рассолов галогенно-карбонатных гидрогеологических формаций платформ. В то же время важнейшие параметры геологической среды играют определяющую роль в формировании основных рисков изучения и последующего освоения залежей этого типа сырья глубокими гидрогеологическими скважинами [6, 15].

Следуя основным научным положениям структурной гидрогеологии по В.М. Степанову [1], в межсолевых карбонатных пластах галогенно-карбонатной гидрогеологической формации осадочного чехла Сибирской платформы выявлен и изучен самостоятельный тип гидрогеологических структур – глубокие обводненные разломы, зоны улучшенных коллекторов транзитного типа с «трещинно-пластово-жильным и трещинно-карстовым» типом коллектора [6]. Современные воззрения в смежных геологических дисциплинах – геотектонике, геодинамике, тектонофизике и новые гипотезы формирования южной окраины Сибирского кратона позволяют сформулировать [10–13] геодинамическую модель формирования флюидной системы с АК-АВПД-параметрами в галогенно-карбонатных толщах осадочного чехла платформ, основанную на шарьяжно-надвиговой теории (Камалетдинов, Казанцев, Казанцева, 1987; Шерман, Семинский, Борняков, 1994; Сизых, 2000; Сметанин, 2000; Семинский и др., 2008). Уточнены границы гидрогеологической области активизированного карбонатного коллектора с рассольным насыщением. Основной объем глубоких скважин с АК-АВПД-параметрами располагается в полосе шириной 300–400 км вдоль всей краевой части платформы, сопоставимой с зоной отраженной складчатости, форланд-границы современного аллохтона [6, 9, 11], где идет обновление процесса шарьяжной активности.

Как логический итог научно-практического обобщения этой аргументации в контурах Верхнеленской впадины в галогенной гидрогеологической формации нами выделено одноименное Верхнеленское (Ангаро-Ленское) месторождение глубоких поликомпонентных промышленных вод – рассолов. Залежи рассолов в пределах Верхнеленского месторождения приурочены к сложным каверно-

трещинным и трещинно-каверновым карбонатным коллекторам. Фильтрационное поле дополнительно осложнено наложенными трещинно-жильными и карстово-жильными гидрогеологическими структурами транзитного типа. В плане распределение зон улучшенных коллекторов подчинено структурно-тектоническому фактору. Наложённые структурные формы проседания и глубинного соляного карста коррелируют с локализацией гидрогеологических структур в плане. Доказана генетическая связь и распределение субпластовых аномально-гидропроводных коллекторов жильного типа с зонами межпластовых срывов, которая в плане увязывается с шарьяжно-надвиговой тектоникой, процессом надвигообразования. Картина распределения наложенных гидрогеологических структур подчинена закономерному распределению аллохтонных антиклиналей на территории Верхнеленской впадины. Структурами проседания осложнено восточное, надвинутое крыло аллохтона линейной антиклиналей. Гидродинамическая изоляция локальных гидрогеологических структур с аномальными параметрами (АК-АВПД) от выше- и нижезалегающих рассолоносных формаций является важнейшим фактором формирования третьего базового признака – аномально-высокой минерализации, типичной для весьма крепких и предельно насыщенных рассолов галогенной формации.

Оцененные перспективные участки в пределах Верхнеленского (Ангари-Ленского) месторождения сгруппированы в две зоны – северная зона БАМ (Ковыктинский, Южно-Усть-Кутский, Омолойский, Илимский, Марковский участки) и **южная Илгинская зона**, включающая как перспективные участки, расположенные в контурах Илгинской впадины – Знаменский, Балхтинский, Верхоленский, Коркинский, Тутурский, Рудовский, так и сопредельные участки Иркутского амфитеатра – Космический, Тыретский, Шелонинский, Балаганкинский, Карахунский. Несмотря на различную степень изученности перспективных участков, сегодня это самое «богатое» на Сибирской платформе по прогнозным эксплуатационным запасам месторождение жидкой литиевой руды, брома, магния и многих других ценных элементов. Суммарные эксплуатационные запасы по перспективным участкам месторождения (табл. 1) оцениваются в 22700 м³/сут, при этом запасы лития составляют 3800 т/год, запасы брома – 80 тыс. т/год на расчетный срок 25 лет. Безусловно, требуется проведение специальных геологоразведочных работ с целью представления эксплуатационных запасов рассолов и ценных извлекаемых компонентов по промышленным категориям изученности в ГКЗ России и постановки на государственный баланс.

Таблица 1

Структура прогнозных эксплуатационных запасов глубоких промышленных рассолов и полезных компонентов (Br, Li) по Верхнеленскому месторождению гидроминеральной провинции Сибирской платформы (экспертная оценка)

Перспективные участки, зоны, месторождения	Эксплуатационные запасы, м ³ /сут.	Запасы полезных ископаемых	
		Сумма компонентов	
		Li, т/год	Br, тыс. т/год
1. Илгинская впадина	9500	1600	40,0
2. Зона БАМ (КГКМ, Омолой, Марково, Илим)	13200	2200	40,0
Всего по Верхнеленскому месторождению	22700	3800	80,0

Таким образом, на основе структурно-гидрогеологических представлений, развивающих научный подход В.М. Степанова, дальнейшее развитие получили представления о месторождениях глубоких промышленных металлоносных рассолов Сибирской платформы, о самостоятельном минералогическом типе «жидкой редкометалльной руды» [3–6, 10–15].

В пределах гидроминеральной провинции Сибирской платформы выделено три типа месторождений глубоких рассолов. Наряду с наиболее простыми месторождениями терригенной гидрогеологической формации (**первый тип**), для залежей которой характерны относительно простые условия залегания гранулярных коллекторов в песчаниках терригенной гидрогеологической формации венданского кембрия, обоснован **второй, более сложный тип месторождений глубоких рассолов**, который выделен в карбонатах галогенной гидрогеологической формации.

Третий тип гидрогеологических структур и связанных с ними месторождений глубоких рассолов – это вертикально построенные гидрогеологические массивы рудоносных диатрем, «трубок взрыва», сформировавшихся при внедрении мантийных расплавов в верхи платформенного чехла. Собственно гидрогеологическая структура объединяет внутренний объем пород-коллекторов в контуре эруптивного контакта эксплозии, трубки взрыва и сопряженные наложенные отрицательные структурные формы проседания и глубинного соляного карста – «воронки проседания». Структурно-вещественный комплекс трещинно-брекчированных горных пород железорудных и алмазных, кимберлитовых трубок взрыва отличается, однако распределение подземных вод в такой гидрогеологической структуре подчиняется единым закономерностям распределения пустотного пространства – трещинова-

тости гидрогеологического массива и приконтактной скарново-измененной зоны интрузии. Фильтрационная структура трубки взрыва, субвертикально прорывающей всю толщу нормально-осадочных пород чехла платформенных отложений и осложненной вторичной структурой воронки проседания осадочных пород, объединяет разные по гидродинамическим и фильтрационным параметрам нормально-осадочные рассолоносные горизонты и комплексы описанных гидрогеологических формаций артезианского бассейна. Разгрузка, перетекание из субпластовых рассолоносных горизонтов и комплексов чехла в трещинно-карстовый массив, «гидрогеологическое окно», активизируется снижением уровня подземных вод в карьере при добыче полезных ископаемых – железных руд или кимберлитов, причем воронка депрессии формируется в каждом из сообщающихся рассолоносных горизонтов, имеющих проницаемый контакт с гидрогеологическим массивом. Типичным объектом третьего типа является **трубка «Удачная»,** Оленекский артезианский бассейн [16].

Таким образом, с позиций научной школы профессора В.М. Степанова выполнена типизация месторождений глубоких промышленных поликомпонентных рассолов Сибирской платформы. Сформулированы физико-геологическая, структурно-гидрогеологическая и фильтрационная модели залежи глубоких промышленных литиевых рассолов в наиболее сложной, галогенной гидрогеологической формации. Фильтрационная модель карбонатного коллектора с «двойной пористостью» и аномальный коллектор (АК) увязаны с геодинамической концепцией формирования линейной соляной складчатости – шарьяжно-надвиговой тектоникой и ее структурных элементов – тектонического сместителя зон межпластовых срывов и наложенных ло-

кальных структур карстового генезиса [6].

И главный вывод, по мнению автора, именно в том, что практикой геологоразведочных работ на глубокие промышленные рассолы получена дополнительная аргументация тезиса профессора В.М. Степанова *«В пределах платформ обводненные разломы обладают геолого-структурными, гидрогеохимическими и гидродинамическими параметрами, необходимыми и достаточными для рассмотрения их в одной общей группе с аналогичными гидрогеологическими структурами древних щитов и горно-складчатых областей...»* [18]. Понимание гидрогеологической и геофильтрационной структуры залежи глубоких промышленных рассолов как объекта геолого-экономической оценки позволяет нам начать практическое освоение этого типа гидроминерального сырья, наиболее богатого по запасам в России [6, 14–17].

Библиографический список

1. Алексеев С.В., Алексеева Л.П., Вахромеев А.Г., Шмаров Г.П. Литие-носные подземные воды Иркутской области и Западной Якутии // Горный журнал. 2012. № 2. С. 8–13.
2. Вахромеев А.Г. Условия формирования подземных вод в гидрогеологических структурах района Рудногорского железнорудного месторождения // Вопросы гидрогеологии, инженерной геологии и охраны природной среды. Пермь, 1983. С. 71–72.
3. Вахромеев А.Г. Знаменский проект разработки промышленных рассолов и его роль в развитии Верхоленья // Абалаков А.Д. и др. Территориальная организация природопользования при газопромысловом освоении Верхоленья. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. С. 25–32.
4. Вахромеев А.Г. Гидроминеральные ресурсы Верхнеленского района // Абалаков А.Д. и др. Территориальная организация природопользования при газопромысловом освоении Верхоленья. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. С. 97–108.
5. Вахромеев А.Г. Минерагения концентрированных рассолов осадочного чехла Сибирской платформы // Геология, поиски и разведка месторождений рудных полезных ископаемых: межвуз. сб. науч. трудов. Вып. 25. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2002. С. 86–97.
6. Вахромеев А.Г. Знаменский рассолопромысловый проект // Кузьмин С.Б., Вахромеев А.Г. Геоэкологические исследования на Лено-Ангарском плато. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2003. С. 13–69.
7. Вахромеев А.Г., Хохлов Г.А. Обобщенная физико-геологическая модель месторождения промышленных рассолов в карбонатных коллекторах юга Сибирской платформы. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2003. С. 66–83.
8. Вахромеев А.Г. Аномальные давления флюидов как индикатор напряженного состояния соленосной формации осадочного чехла Сибирской платформы // Современная геодинамика и опасные природные процессы в Центральной Азии: фундаментальный и прикладной аспекты. Иркутск: ИЗК СО РАН, 2005. Вып 3. С.113–116.
9. Вахромеев А.Г., Сизых В.А. Роль шарьяжно-надвиговой тектоники в формировании аномально-высоких пластовых давлений и промышленных металлоносных рассолов Сибирской платформы // Доклады РАН. 2006. № 2. С. 1–5.
10. Вахромеев А.Г. Ключевые аспекты освоения предельно-насыщенных металлоносных рассолов Восточной Сибири // Известия СО Секции наук о Земле РАЕН. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2007. Вып. 5 (31). С. 61–66.
11. Вахромеев А.Г. Поисковые гидрогеологические критерии локализации месторождений редкометалльных промышленных рассолов Сибирской плат-

формы // Известия СО Секции наук о Земле РАЕН. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. Вып. 7 (33). Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2008. С. 30–41.

12. Вахромеев А.Г. Геодинамическая модель формирования аномально-высоких давлений флюидов в разрезе осадочного чехла Сибирской платформы // Известия Отд. наук о Земле и природных ресурсов АН РБ. Геология. 2008. № 12. С. 39–51.

13. Вахромеев А.Г. Закономерности формирования и концепция освоения промышленных рассолов (на примере юга Сибирской платформы): автореф. дис. ... д-ра геол.-минералог. наук. Иркутск, 2009. 36 с.

14. Голф-Рахт Т.Д. Основы нефтепромышленной геологии и разработки трещиноватых коллекторов. М.: Недра,

1986. 608 с.

15. Концанов Б.С. Диагностирование фильтрационных моделей по КВД на основе детерминированных моментов // Сб. научных трудов ВНИИ. 1980. Вып. 73. С.16–18.

16. Рябцев А.Д., Коцупало Н.П., Вахромеев А.Г., Комин М.Ф. Поликомпонентные литиеносные рассолы Сибирской платформы – сырье многоцелевого назначения // Рациональное освоение недр. 2013. № 1. С. 44–51.

17. Семинский К.Ж. и др. Разломы и сейсмичность юга Сибирской платформы: особенности проявления на разных масштабных уровнях // Литосфера. 2008. № 4. С. 3–21.

18. Степанов В.М. Введение в структурную гидрогеологию. М.: Недра, 1989. 229 с.

Рецензент кандидат геолого-минералогических наук,
доцент Иркутского государственного технического университета Ю.Н. Диденков