

И. А. Губин¹✉, С. А. Моисеев^{1,2}

Закономерности распределения соленасыщенных горизонтов кембрия на территории Ангаро-Ленской НГО

¹ Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН,
г. Новосибирск, Российская Федерация

² Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск,
Российская Федерация
e-mail: GubinIA@ipgg.sbras.ru

Аннотация. Впервые за последние полвека после работ Жаркова М.А., Карасева И.П., Карасева О.И., Пиннекера Е.В., Чечеля Э.И., Яншина А.Л. и других исследователей кембрийского солеродного бассейна для территории Иркутского амфитеатра построены региональные карты соленасыщенности усольской, бельской, ангарской и литвинцевской свит, а также карты их толщин. Для усольской свиты учтена мощность трапповой интрузии. Показано изменение положения депоцентра солеродного бассейна на каждый из четырех этапов кембрийского соленакопления. Выявлены линейные уравнения регрессии для расчета суммарных толщин солей по каждой свите. Наибольшей соленасыщенностью (70-80%) характеризуется усольская свита, наименьшей – бельская (20-30%). Уточнены контуры развития солей и выявлены зоны максимальной соленасыщенности, рассматриваемые как благоприятные для обнаружения рапоносных рассолов, перспективных на гидроминеральное сырье, а также для обустройства газовых хранилищ в соляных кавернах.

Ключевые слова: кембрий, солеродный бассейн, Ангаро-Ленская НГО, этап соленакопления

I. A. Gubin¹✉, S. A. Moiseev^{1,2}

Distribution patterns of salt-saturated Cambrian horizons within the Angara-Lena oil and gas area

¹ The Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation

² Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: GubinIA@ipgg.sbras.ru

Abstract. For the first time in the last half century, after the works of Zharkov M.A., Karasev I.P., Karasev O.I., Pinnecker E.V., Chechel E.I., Yanshin A.L. and other researchers of the Cambrian salt basin, regional maps of salinity saturation of the Usolska, Belaya, Angara and Litvintzevo formations, as well as maps of their thicknesses, within the Irkutsk Amphitheater are constructed. The structural construction takes into account the thickness of the trap for the Usolska fm. The change of the salt basin depocenter position is considered. The article provides linear regression equations for calculating the total salts thickness. The Usolska fm characterized by the highest salinity (70-80%), the Belaya fm by the lowest (20-30%). We clarified the boundaries of salt development and identified maximum salinity saturation zones, which are favorable for the discovery of strong brines and promising for hydromineral raw, as well as for the construction of gas storage facilities in salt caverns.

Keywords: Cambrian, salt basin, Angara-Lena OGA, salt accumulation stage

Введение

Солеродный бассейн нижнего-среднего кембрия в южной части Сибирской платформы развита на площади более 600 000 км². Мощные соляные толщи образовывались в бассейнах с особым устойчивым гидрохимическим режимом, которые сообщались с океаном через ряд длительно существовавших полуизолированных промежуточных бассейнов, современных аналогов которым не существует [Яншин, 1961].

Вдоль восточной границы Ангаро-Ленской НГО более чем на 2000 км протягивается полоса, сложенная преимущественно ниже-среднекембрийскими отложениями, смятыми в линейные складки (Прибайкальская и Непская зоны дислокаций). Предполагается определяющая роль соляного тектогенеза в формировании этих структур. Среди них обособляются Божеханское, Казачинское, Усть-Кутское, Жигаловское и другие валообразные поднятия. Они контролируют распределение нефти, газа, подземных вод и солей в ниже-среднекембрийских отложениях. К осевым частям валов приручены Марковское, Нарьягинское, Знаменское и другие месторождения. Чиканский и Хандинский валы ограничивают уникальное Ковыктинское месторождение.

В ниже-среднекембрийском разрезе осадочного чехла Ангаро-Ленской НГО выделяются 4 регионально соленасыщенных свиты: усольская, бельская, ангарская и литвинцевская. Булайская свита, залегающая между бельской и ангарской, сложена бессолевыми относительно однородными породами, мощность которых довольно постоянна и изменяется в пределах 100-150 м. Общая мощность не нарушенных соленосно-карбонатных пород составляет около 1700-1800 м, из которых на долю каменной соли приходится до 900 м.

С нижекембрийскими галогенно-карбонатными отложениями связано проявление литиевой галогенно-карбонатной формации. Литиеносными являются гипсы, доломиты, брекчии глинистых доломитов, галопелиты. Соленосные горизонты помимо самостоятельного поискового значения (на каменные и калийные соли), также являются лучшими флюидоупорами и, кроме того, могут рассматриваться в качестве потенциальных объектов для обустройства гелиевых хранилищ путем создания соляных каверн.

В связи с этим актуальной задачей является построение региональных карт толщин солей на разные стратиграфические уровни на современной геологической основе.

Методы и материалы

Нами был собран и проанализирован материал по более чем 400 скважинам Ангаро-Ленской НГО. Составлены корреляционные схемы, уточнены стратиграфические разбивки. С использованием описаний керна, материалов ГИС, литологических колонок были выделены отдельные пропластки солей и подсчитаны их суммарные толщины по каждой свите. Итогом работы явились детальные карты толщин свит и их соленасыщенности (рис. 1-4). Дадим краткую характеристику полученных результатов.

Результаты

При расчете толщин усольской свиты и ее соленасыщенности была учтена мощность одноименного силла, который развит в северной части Ангаро-Ленской НГО. К югу он полностью выклинивается примерно по линии, соединяющей скважины Харанжинская-7 – Усть-Кадинская-162 – Подволочная-161 – Чорская-2 – Южно-Усть-Кутская – Омолойская, за исключением двух небольших «язычков», заходящих на Левобережную и Жарковскую площади. Увеличенные толщины силла в усольской свите (более 100 м) вскрыты на Верхнекатангской, Грузновской, Жарковской, Заярской, Илимской, Казаркинской и других площадях. Максимальная толщина 179 м отмечена в скв. Ялыкская-262.

В пределах Ангаро-Ленской НГО усольская свита распространена повсеместно. Общая мощность свиты (за вычетом силла) относительно выдержанна и составляет в среднем 700-900 м (рис. 1). При этом выделяются две обширные области увеличенных толщин в районе Присяжно-Енисейской синеклизы и южной части Ангаро-Ленской ступени (площади Тыреть, Кутулик, Бохан, Ахины), видимо соответствующие двум самостоятельным бассейнам – Северному и Южному. Резкие изменения мощности и фаций усольской свиты наблюдаются по линии, параллельной предгорью Восточного Саяна (Тыреть – Тулун – Тайшет). По линии, перпендикулярной Восточному Саяну (Тулун – Тангуй – Заярск – Нижне-Илимск), отложения усольской свиты сохраняют свою литолого-фациальную характеристику. По линии Атовка – Тыпта – Жигалово – Марково усольская свита испытывает значительные изменения мощностей, связанные с влиянием соляной тектоники. В линейной диапировой структуре вдоль Жигаловского разлома мощность солёной толщи достигает 1400 м (скв. Жигаловская Р-1) – 1550 м (Тыптинская СП-1).

По мере приближения к Восточному Саяну солёно-карбонатные породы замещаются карбонатными, а затем терригенно-карбонатами, что указывает на прибрежные условия осадконакопления [Горбачев, 1968]. На северо-востоке (Усть-Кутский свод) мощность усольской свиты сокращена и не превышает 550 м, а в пределах прогибов сильно увеличивается, достигая в Прибайкальском прогибе 1000 м.

Между мощностью усольской свиты и суммарным содержанием в ней пропластков солей имеется тесная взаимосвязь, выражаемая формулой: $\sum \Delta H(\text{соль}) = 0,783 * \Delta H(\text{усольская}) - 105,7$ с коэффициентом детерминации 0,89.

В усольское время в условиях жаркого климата отлагались галогенные породы в чередовании с карбонатными. Усольская свита отличается наибольшей солёностью среди других свит кембрия в среднем превышающей 60% (рис. 1). Каменная соль образует многочисленные (30-50) пропластки мощностью от 1-10 до 60 м, чередующиеся с подчиненными междупластьями сульфатно-карбонатных пород. От подошвы к кровле усольской свиты мощность соляных пластов уменьшается. Интервалы солей хорошо выделяются по комплексу ГИС. Они состоят преимущественно из галита бесцветного, розового, красного средне – и крупнокристаллического и местами отличается исключительной чи-

стотой. Количество редких щелочных металлов Li, Rb, Cs в известняках, доломитах и соли ничтожно мало и контролируется, по-видимому, примесью глинистого вещества [Государственная..., 2009].

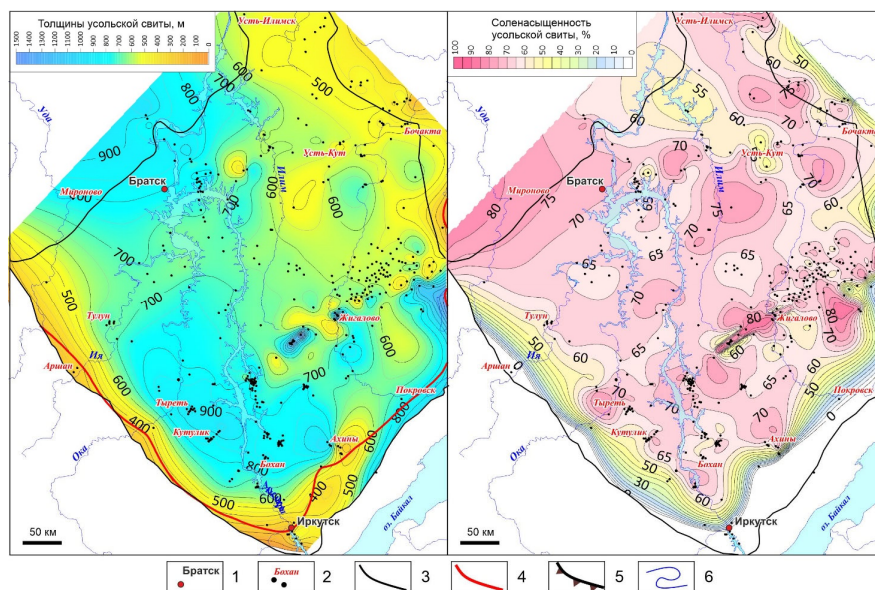


Рис. 1. Толщина и соленасыщенность усольской свиты

Условные обозначения: 1 – населенные пункты, 2 – площади глубокого бурения и местоположение скважин, 3 – граница Ангаро-Ленской НГО, 4 – граница распространения солей, 4 – граница распространения свиты, 6 – гидросеть.

В южных областях Сибирской платформы широко распространены процессы вымывания солей из верхних частей разреза кембрия. Так, на Кутуликской площади в верхней части разреза усольской свиты по линии скважин 6, 4, 8, 5, 2, 3 верхняя граница солей стратиграфически снижается в юго-западном направлении к Присянью. В верхней части свиты прослеживается исчезновение солей. Н.В. Мельниковым с соавторами этот факт объясняется выщелачиванием солей в новейшее время в связи с процессами неотектонического подъема территории [Мельников и др., 1980]. Зеркало солей повторяет дневной рельеф, а вышележащие свиты на Кутуликской площади обессолены.

Бельская свита также распространена повсеместно в пределах Ангаро-Ленской НГО. Ее мощности регионально увеличиваются в северо-западном направлении от 200 до 600 м (рис. 2). К Присянью и Прибайкалью мощности бельской свиты резко сокращаются. Отчасти это связано с вымыванием солей. В районах Ахины и Покровска по увеличенным мощностям бельской свиты выделяется Прибайкальский прогиб.

В районах Жигалово – Балыхта – Атовка резкие колебания мощности свиты связаны с валообразными поднятиями и впадинами. В качестве примера можно привести Рудовскую площадь, где в скв. № 176 в интервале 1145-1477 м вскрыты отложения верхнебельской подсвиты, представленные преимущественно каменной солью аномальной толщиной 332 м. Начиная с кровли бельской свиты,

вскрытый разрез в этой скважине значительно отличается от разреза соседней скв. № 175, где солей всего 39 м, и не соответствует проектному. Расстояние между скважинами менее 2 км.

Сравнивая мощности усольской и бельской свит можно с определенной достоверностью сделать вывод о сохранении депоцентра Северного солеродного бассейна в Присяяно-Енисейской синеклизе и исчезновении Южного бассейна.

Поскольку соленосные фации отлагались преимущественно в позднебельское время, соленасыщенность свиты в целом значительно уступает усольской и составляет в среднем 20-30%. Между мощностью бельской свиты и суммарным содержанием в ней пропластков солей также имеется тесная связь: $\Sigma \Delta H(\text{соль}) = 0,683 * \Delta H(\text{бельская}) - 200,8$ с коэффициентом детерминации 0,80.

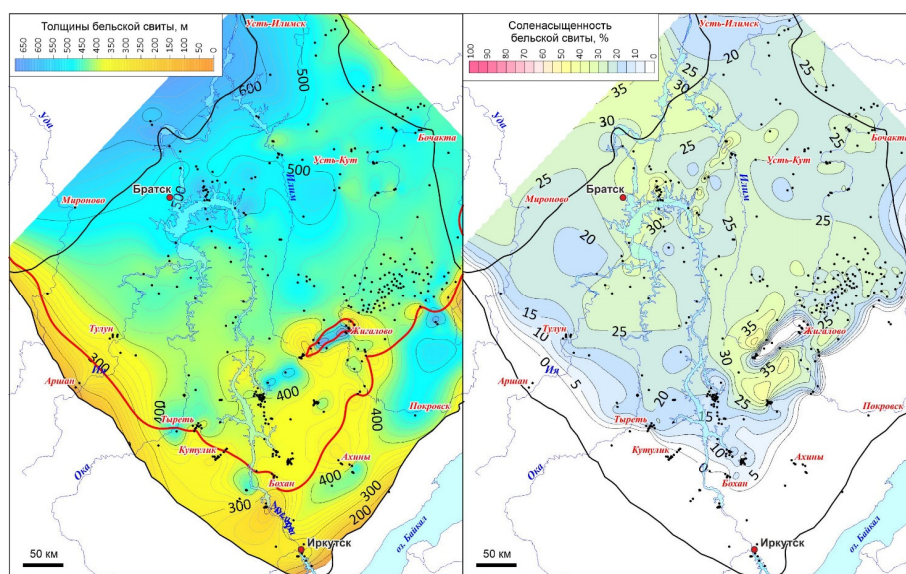


Рис. 2. Толщина и соленасыщенность бельской свиты
Условные обозначения: см. рис. 1.

В районе Жигаловского вала соли полностью выдавлены из свиты и на Жигаловской, Тыптинской и Балыхтинской площадях ее разрез существенно сокращен до 300-320 м, однако в усольской свите он аномально «раздут». Обратная картина наблюдается на соседних площадях – Высотной, Знаменской и Рудовской.

Количество пластов каменной соли на разных площадях изменяется от 6-8 до 20-30, при мощности от 1,5 до 62 м [Пиннекер, 1966]. Увеличение суммарного содержания соли (150-200 м) фиксируется в пределах Литвинцевского вала и Братского выступа.

Линия выщелачивания солей закартирована на Кутуликском и Тыретском профилях глубокого бурения. Вдоль линии Тыретских скважин №№ 3–5–7–8 в юго-западном направлении происходит закономерное уменьшение толщин солей 72–10–7–0 м. Аналогично на Кутуликском профиле по скважинам №№ 3–1–2 мощности солей составляют 6–2–0 м. Резкое сокращение суммарной мощности

солей отмечено на Верхоленской (с 64 м до 5 м), Тутурской (со 109 м до 11 м) и других площадях.

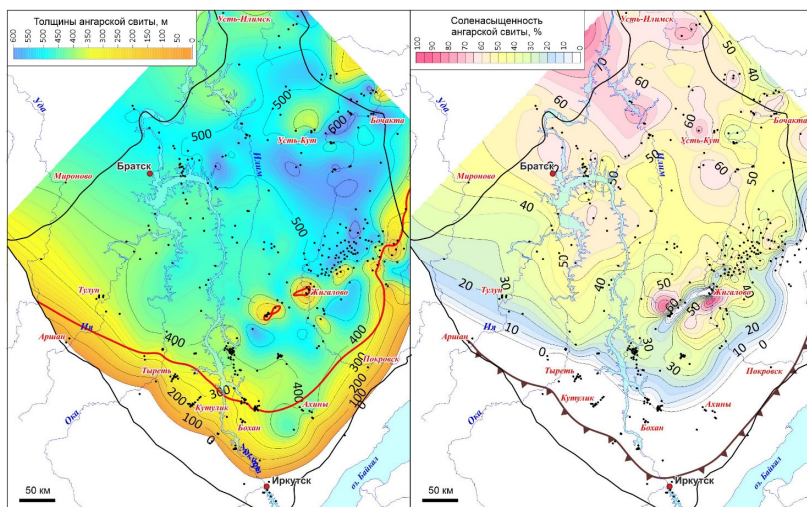


Рис. 3. Толщина и соленасыщенность ангарской свиты
Условные обозначения: см. рис. 1.

Область осадконакопления на юге Сибирской платформы к началу формирования осадков ангарской свиты значительно сократилась. Максимальные мощности ангарской свиты приурочены к Тутурскому участку (529 м), Высотной (567 м), Мамырской (608 м) площадям и к долине р. Лена (на участке Бочакта – Ковыктинское ГКМ, до 660 м). На карте толщин (рис. 3) отчетливо выделяется главный депоцентр бассейна, расположенный в восточной части Ангаро-Ленской НГО, Южно-Усть-Кутская (Скокнинская) площадь. Зона увеличенных толщин имеет форму треугольника. К западу от нее отмечается равномерное уменьшение мощности до 300-320 м, на восток происходит резкое сокращение до 200 м. В западной части юга Сибирской платформы мощность ангарской свиты увеличивается с юго-запада на северо-восток от 366-393 м (Нижеудинск – Азей) до 458-480 м (Тангуй – Мироново). Мощность увеличивается за счет появления в разрезе свиты сульфатно-соленосных образований [Горбачев, 1968].

Соленасыщенность ангарской свиты находится на среднем уровне – 40-60%. Несмотря на более высокое гипсометрическое положение область развития соленосных горизонтов превышает зону бельских солей. Соли также отсутствуют в районе Жигаловского вала, будучи выжатыми в его бортовые части (рис. 3).

Зависимость общих толщин солей в ангарской свите от ее толщины описывается линейным уравнением регрессии: $\sum \Delta H(\text{соль}) = 1,077 * \Delta H(\text{ангарская}) - 300,04$ с коэффициентом детерминации 0,78. Максимальные толщины солей (до 364 м) приурочены к Литвинцевскому валу, Южно-Усть-Кутской и Купской площадям. На Ковыктинской площади в скв. №№ 72 и 18, характеризующимся высокими значениями суммарных толщин солей – 319 и 280 м соответ-

ственно, встречены осложнения, связанные с рапопроявлениями, аварийные выбросы рассолов.

В среднем кембрии к концу амгинского века завершается продолжительный этап венд-кембрийского соленакопления, за которым последует региональный предмайский перерыв, уничтоживший значительную часть ранее накопленных отложений на Сибирской платформе [Мельников, 2009].

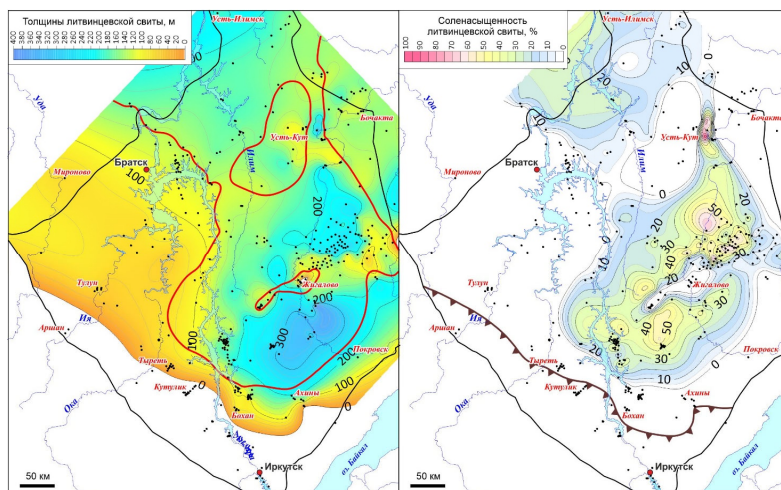


Рис. 4. Карты толщин и соленасыщенности литвинцевской свиты
Условные обозначения: см. рис. 1.

Область осадконакопления на юге продолжала сокращаться. Депоцентр бассейна в литвинцевское время сместился на юг, на территорию между современными Божеханским и Жигаловским валами. Мощность литвинцевской свиты здесь составляет 300-360 м. Обширная область пониженных толщин (менее 120 м) протягивается к западу от русла р. Ангары. Ей отвечает зона отсутствия солей в литвинцевской свите (рис. 4). Соли отсутствуют также в пределах Жигаловского вала и на Усть-Кутском своде, где сокращение общих толщин свиты не такое очевидное.

Проявление соляной тектоники зафиксировано на северо-востоке Ангаро-Ленской НГО в южной части зоны Непских дислокаций. На Усть-Кутской площади в скв. № 2 вскрыто 180 м солей при общей мощности свиты 308 м. Здесь сейсморазведкой выявлены зоны интенсивных нарушений (зоны дробления), протягивающиеся в виде узких (1-3 км) полос в субмеридиональном направлении. В надсолевом структурном комплексе отмечены многочисленные линейные складки (Купский, Усть-Кутский, Огневский, Якуримский и другие вала). Не исключено, осевые части некоторых из них также образованы солями. Степень дислоцированности пород нарастает с запада на восток, в направлении к Байкальской складчатой системе.

Зависимость между толщинами солей в литвинцевской свите и ее общей толщиной имеет вид: $\sum \Delta H(\text{соль}) = 0,779 * \Delta H(\text{литвинцевская}) - 87,66$, коэффициент

детерминации 0,81. Максимальные толщины солей приурочены к Ковыктинской площади (до 160 м), и Коркинско-Христофоровской зоне (до 120 м).

Заключение и выводы

Развитие солеродного бассейна в кембрийский период было весьма сложно, о чем свидетельствует непостоянство положения его депоцентра на разные этапы соленакопления. Выявленные зоны увеличенных толщин солей на юге Ангаро-Ленской НГО в усольской, бельской, ангарской и литвинцевской свитах могут рассматриваться как благоприятные для обнаружения рапоносных рассолов, перспективных на гидроминеральное сырье, а также для создания искусственных каверн в солях с целью хранения газа, в частности, гелия.

Благодарности

Исследование выполнено в рамках проекта ФНИ № FWZZ-2022-0008.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горбачев В.Ф. Палеотектонический критерий оценки перспектив на нефть и газ закрытых территорий (на примере юга Сибирской платформы) // Геологическое строение и нефтегазоносность восточной части Сибирской платформы и прилегающих районов. – М.: Недра, 1968. – С. 384-393.
2. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1: 1 000 000 (третье поколение). Лист N-48-Иркутск. Объяснительная записка. – СПб.: Картфабрика ВСЕГЕИ, 2009. – 574 с.
3. Пиннекер Е.В. Рассолы Ангаро-Ленского артезианского бассейна. – М.: Наука, 1966. – 332 с.
4. Мельников Н.В. Венд-кембрийский соленосных бассейн Сибирской платформы (стратиграфия, история развития). – Новосибирск, 2009. – 148 с.
5. Мельников Н.В., Ефимов А.О., Сафронова И.Г., Шемин Г.Г., Стариков Л.Е. Некомпенсированные прогибы и зоны вымывания солей в разрезе кембрия юга Сибирской платформы // Новые данные по геологии и нефтегазоносности Сибирской платформы. Сб. науч. тр. СНИИГГиМСа. Новосибирск. Вып. № 284. – 1980. – С. 36-50.
6. Яншин А.Л. О глубине солеродных бассейнов и некоторых вопросах формирования мощных соляных толщ // Геология и геофизика. – № 1. – 1961. – С. 3-15.

© И. А. Губин, С. А. Мусеев, 2025