

УДК 556.31:553.98

DOI: 10.31660/0445-0108-2022-3-38-56

Гидрогеохимические условия мезозойского гидрогеологического бассейна Равнинного нефтяного месторождения

Ю. И. Сальникова^{1, 2*}, В. А. Бешенцев²

¹*Западно-Сибирский институт проблем геологии нефти и газа Тюменского индустриального университета, Тюмень, Россия*

²*Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия*

*salnikova.julja@rambler.ru

Аннотация. Исследования гидрогеохимических особенностей подземных вод глубоких горизонтов Западно-Сибирского мегабассейна достаточно актуальны. Они тесно связаны с прикладными и фундаментальными вопросами нефтегазовой гидрогеологии и позволяют изучить процессы образования, аккумуляции и миграции углеводородов.

В статье рассмотрены результаты анализа гидрогеохимических условий мезозойского гидрогеологического бассейна Равнинного нефтяного месторождения. Ионно-солевой состав подземных вод глубоких горизонтов рассматриваемой территории изменчив. В основном подземные воды относятся к хлоридно-кальциевому типу (по В. А. Сулину), но локальное распространение имеют хлоридно-магнєвые и гидрокарбонатно-натриевые воды. Гидрогеологические условия месторождения проявляются в изменении химического состава подземных вод и в вертикальной гидрохимической зональности. Описаны черты регионального распределения пластовых температур и пластовых давлений апт-альб-сеноманского, неокомского и юрского гидрогеологических комплексов. Изучение факторов формирования гидрогеохимического поля месторождения выполнено с учетом палеотектонических, палеогеоморфологических и палеогидрогеологических реконструкций условий, оказавших влияние на накопление флюидов. В отложениях доюрского комплекса широко распространены разрывные нарушения, а также угловые несогласия между породами различного возраста, предопределившие миграцию углеводородов и формирование их залежей.

Ключевые слова: нефтегазовая гидрогеология, мезозойский гидрогеологический бассейн, минерализация подземных вод, пластовая температура, пластовое давление, водонапорная система, палеогидрогеология

Для цитирования: Сальникова, Ю. И. Гидрогеохимические условия мезозойского гидрогеологического бассейна Равнинного нефтяного месторождения / Ю. И. Сальникова, В. А. Бешенцев – DOI 10.31660/0445-0108-2022-3-38-56 // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2022. – № 3. – С. 38–56.

Hydrogeochemical conditions of the Mesozoic hydrogeological basin within the Ravninnoe oil field

Yulia I. Salnikova^{1, 2*}, Vladimir A. Beshentsev²

¹*West Siberian Institute of Oil and Gas Geology of Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia*

²*Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia*

*salnikova.julja@rambler.ru

Abstract. Studies of the hydrogeochemical features of groundwater in deep horizons of the West Siberian megabasin are important. They are closely related to applied and fundamental issues of oil and gas hydrogeology and allow studying the processes of formation, accumulation and migration of hydrocarbons.

The article deals with our analysis of the hydrogeochemical conditions of the Mesozoic hydrogeological basin within the Ravninnoe oil field. The ion-salt composition of groundwater in deep horizons in the territory is variable. Basically groundwater are of the calcium chloride type (according to V. A. Sulin's classification), but magnesium chloride and sodium bicarbonate types of water are locally distributed. The hydrogeological conditions of the field are manifested in the change in the chemical composition of groundwater and in the vertical hydrochemical zonality. The article describes the features of the regional distribution of reservoir temperatures and reservoir pressures of the Aptian-Albian-Cenomanian, Neocomian and Jurassic hydrogeological complexes. The study of the formation factors of the hydrogeochemical field of these deposits was carried out taking into account paleotectonic, paleogeomorphological and paleohydrogeological reconstructions of the conditions that influenced the accumulation of fluids. Faults are widespread in the deposits of the pre-Jurassic complex, as well as angular unconformities between rocks of different ages, which predetermined the migration of hydrocarbons and the formation of their deposits.

Keywords: petroleum hydrogeology, the Mesozoic hydrogeological basin, groundwater salinity, reservoir temperature, reservoir pressure, water pumping system, paleohydrogeology

For citation: Salnikova, Yu. I., & Beshentsev, V. A. (2022). Hydrogeochemical conditions of the Mesozoic hydrogeological basin within the Ravninnoe oil field. Oil and Gas Studies, (3), pp. 38-56. (In Russian). DOI: 10.31660/0445-0108-2022-3-38-56

Введение

Гидрогеохимический облик подземных вод мезозойского бассейна Равнинного месторождения отражает воздействие ряда факторов, а именно: палеогеографических условий формирования, приуроченности территории к границе элизионной литостатической и элизионной геодинамической водонапорных систем [1], предопределившей поступление элизионных вод, и температур фундамента, активизирующих процессы ионного обмена в системе «вода — порода». Особое внимание акцентировано на тектонической активности района исследований, оказавшей влияние на вещественный и газовый составы пластовых вод и их гидрогеодинамику. В настоящее время решение этих вопросов осложняется неоднородной опробованностью подземных вод глубоких горизонтов.

Авторами выполнен анализ гидрогеохимических условий мезозойского гидрогеологического бассейна Равнинного месторождения, расположенного в Пур-Тазовской нефтегазоносной области.

Показатели пластовых давлений в интервалах гидрогеологических комплексов мезозоя имеют нормальные значения. В юрском комплексе фрагментарно встречаются догидростатические пластовые давления, где дефицит достигает 5 МПа. Здесь может оказывать влияние близость геодинамической водонапорной системы Западно-Сибирского мегабассейна (Омско-Гыданской структурной зоны), а также зон растяжения земной коры в пределах этой системы участков, «всасывающих» глубокие флюиды.

Объект и методы исследования

Равнинный участок в гидродинамическом отношении приурочен к крупному Западно-Сибирскому артезианскому мегабассейну. В гидрогеологическом разрезе Западно-Сибирской водонапорной системы, в северо-восточной части которой находится рассматриваемый участок, выделяются два гидрогеологических этажа (в соответствии со стратификацией [2–4]), каждый из которых имеет специфические черты геохимии и гидродинамики подземных вод ввиду изолированности мощным турон-эоценовым водоупорным горизонтом (табл. 1).

Таблица 1

Схематический гидрогеологический разрез района Равнинного месторождения

Гидрогеологические комплексы		Слагающие породы; толщина, м	$\frac{K_{П, \%}}{K_{ПР} \cdot 10^{-3} \text{ мкм}^2}$	$\frac{\text{Дебиты, м}^3/\text{сут}}{\text{СДУ}^*, \text{ м}}$	Т, °С
Водоносный	Водоупорный				
Эоцен-четвертичный		Пески, супеси, суглинки, глины с гравием и галькой; до 340 м	н/д	5–28 л/с	+2÷–2
	Турон-эоценовый региональный	Глины, пески, алевроиты, опоки, до 900 м	–	–	–
Апт-альб-сеноманский		Чередование песчаников, (вверху уплотненных песков), алевролитов и глин (700 м)	$\frac{27,4}{441,61}$	$\frac{12}{1\,005}$	+38÷+58
	Барремский субрегиональный	Алевритовые глины, алевролиты, песчаники (до 25 м)	–	–	–
Неокомский		Чередование песчаников, алевролитов и глин; около 700–800 м	$\frac{12-18}{1-60}$	$\frac{28,3-251,1}{900-259,5}$ 1,3 (4 мм)	+65÷+86
	Кимеридж-волжско-берриас-валанжинский субрегиональный	Глины аргиллитоподобные; около 200 м	–	–	–
Юрский + водоносная трещиноватая зона фундамента		Чередование песчаников, алевролитов и аргиллитоподобных глин, трещиновато-выветрелые породы фундамента, 1 000 м и более	$\frac{16,6}{23,3}$	$\frac{3,4-67,2}{247,5-105,1}$	+88÷+108

Примечание: *СДУ — средний динамический уровень

Верхний этаж содержит пресные воды и отличается обстановкой свободного газоводообмена, частично заморожен в зоне развития многолетнемерзлых пород [5]. Воды верхнего этажа в нашей работе не являются объектом изучения, что позволяет опустить их характеристику.

Минерализованные подземные воды нижнего гидрогеологического этажа — объект исследований — относятся (сверху вниз) к апт-альб-сеноманскому, неокскому и юрскому (совместно с проницаемыми образованиями доюрского фундамента) комплексам. Указанные комплексы находятся в зоне затрудненного, местами застойного водообмена. Подземные воды имеют хлоридный натриевый состав, отличаются относительно повышенным содержанием микрокомпонентов, бессульфатностью и бескарбонатностью (SO_4^{2-} и CO_3^{2-} встречены в отдельных пробах в незначительных количествах). Состав водорастворенных газов преимущественно метановый.

Изучаемое месторождение представлено пробами подземных вод по апт-альб-сеноманскому и юрскому водоносным комплексам. При описании гидрогеологической обстановки нижнего этажа района работ также использован фактический материал по водозаборным и разведочным скважинам Холмистого, Чатылькинського, Фестивального и других близлежащих месторождений. Статистические показатели химического состава подземных вод комплексов нижнего гидрогеологического этажа приведены в таблице 2.

На большей части рассматриваемого района наблюдается опесчанивание глинистого водоупора, разделяющего апт-альб-сеноманский и неокский гидрогеологические комплексы, глины нижнего апта восточной части Западно-Сибирского мегабассейна отчетливо не прослеживаются [6].

Равнинное месторождение находится вблизи границы внешней и краевой гидрогеологических зон, условно проводимой по изоминере 10 г/дм³. Данное обстоятельство предопределяет некоторые черты гидрогеологических условий рассматриваемой территории, которые выражаются в изменении химического состава подземных вод и увеличении минерализации вод с глубиной, то есть проявляется прямой тип вертикальной гидрогеохимической зональности. Рост водородного показателя (до 8,0–9,0) наиболее выражен в апт-альб-сеноманском комплексе [7, 8].

Для восстановления солевого состава пластовых вод древних морских и озерно-аллювиальных бассейнов мезозоя привлечены фондовые данные результатов палеогеографических реконструкций. В качестве определяющего фактора направленности изменения химического состава вод в процессе эволюции осадочного бассейна использованы генетические коэффициенты метаморфизации: натрий-хлорный ($r\text{Na}/r\text{Cl}$) и хлор-бромный (Cl/Br) [9, 10]. В качестве факторов, контролирующих последующие изменения химического состава вод после их захоронения, выступают температура, давление, наличие инфильтрационного питания.

Результаты и обсуждение

Равнинное месторождение расположено в Красноселькупском районе Тюменской области Ямало-Ненецкого автономного округа. Географически рассматриваемая территория находится в северо-восточной части Западно-Сибирской равнины. Рельеф местности представлен полого-

холмистой равниной, наклоненной с юга (а.о. +86,5 м) на север (а.о. +56,8 м). Господствующим ландшафтом северной части территории является заболоченная северная тайга. Южнее территория относится к зоне лесотундры [11].

Таблица 2

**Гидрогеохимическая характеристика нижнего гидрогеологического этажа
Равнинного месторождения**

Единица измерения	Показатель	Апт-альб-сеноманский	Неокомский	Юрский + PZ
	pH	7,0–9,0	6,2–8,2	6,1–8,0
г/дм ³	Минерализация	5,0–13,0/3,5–9,8*	13,3–31,2	26,1–46,8
мг-экв/дм ³	Na ⁺ + K ⁺	52,6–204,0	194,8–489,0	398,4–613,1
	Ca ²⁺	4,3–15,0/1,0–7,5*	10,4–117,8/9,1*	25,9–92,3
	Mg ²⁺	1,0–7,0	0,5–29,9	1,0–19,2
	NH ₄ ⁺	0,1–1,3	0,4–3,3	0,8–9,5
	Cl ⁻	46,0–210,0	215,0–515,0	430,0–670,0
	HCO ₃ ⁻	4,2–10,8/9,4–16,4*	0,6–14,6/12,4*	18,2
	SO ₄ ²⁻	< 0,2	< 0,7	< 1,5
	CO ₃ ²⁻	< 0,2	0	0
	I	0,9–7,1	До 10,9	1,7–6,5
	Br	8,0–29,2	38,3–50,8	57,1–81,8
	B	1,3–8,9	14,4	4,2–14,9
	Fe	0,3–0,6	–	–
	rNa/rCl	0,92–0,99/ 1,00–1,13*	0,75–0,97/ 1,01*	0,84–0,96/ 1,01–1,03*
	Cl/Br	203,9–280,6	199,8–403,9	240,4–362,6
г/см ³	Плотность воды	1,002–1,009	1,001–1,021	1,017–1,029
	Тип вод по В. А. Сулину	Хлоридно-кальциевый, хлоридно-магниевый/гидрокарбонатно-натриевый*	Хлоридно-кальциевый/хлоридно-магниевый*, гидрокарбонатно-натриевый*	Хлоридно-кальциевый/гидрокарбонатно-натриевый*

Примечание: * — локальное распространение

Климатические особенности рассматриваемой территории обусловлены ее географическим положением (северная часть в глубине континента) и, как следствие, слабым притоком солнечной радиации [12].

Гидрография района работ представлена притоками р. Тольки (приток р. Таз). Непосредственно на территории Равнинного месторождения берет начало река Варкы-Чюэльки. Кроме того, на площади много озер, воды которых используют для технического водоснабжения. По данным экологических исследований природных вод [13], их качество признано удовлетворительным.

Гидрогеологические условия мезозойского бассейна

Апт-альб-сеноманский водоносный комплекс района Равнинного месторождения приурочен к Тазовско-Уренгойской фациальной зоне и представлен покурской и ереямской (в объеме апта) свитами, сформированными песчаниками (вверху уплотненными песками), алевролитами и глинами (общей толщиной порядка 700 м).

Подошвенным водоупором апт-альб-сеноманского комплекса являются глины верхней части ереямской свиты барремского возраста (до 30 м).

На рассматриваемой территории породы комплекса характеризуются высокими фильтрационно-емкостными свойствами. Среднее значение пористости составляет 27,4 %, проницаемости — $441,61 \cdot 10^{-3}$ мкм² (см. табл. 1).

Пьезометрическая поверхность комплекса плавно снижается от обрамления бассейна к его центральной части и далее, в северном направлении со средним уклоном около 0,0002 (в прибортовых районах — до 0,0035). Воды комплекса высоконапорные, величина напора около 1 000 м. По данным опытно-фильтрационных работ соседних месторождений, суммарная водопроницаемость колеблется в пределах от 50–100 до 500 м²/сут, пьезопроводность — $n \cdot 10^5$ м²/сут [14, 15]. На Равнинном месторождении водопроницаемость составила 175,9 м²/сут, коэффициент пьезопроводности — $9,47 \cdot 10^5$ м²/сут.

Водообильность отложений довольно высокая. При испытании комплекса в разведочный период на Равнинном месторождении зафиксированы непереливающиеся притоки с дебитами 12,0 м³/сут при СДУ, равном 1 005 м (см. табл. 1).

Гидрогеохимическая характеристика вод в районе работ приводится по пятнадцати представительным пробам, отобранным в основном на Холмистом и Чатылькинском месторождениях.

Воды комплекса принадлежат к хлоридным натриевым, преобладают хлоридно-кальциевый и хлоридно-магниевый типы вод по классификации В. А. Сулина, гидрокарбонатный встречен на Воргенском и Фестивальном месторождениях. Пределы изменения минерализации для всех типов близкие: от 5,0 до 13,0 г/дм³ и от 3,5 до 9,8 г/дм³, соответственно. Водородный показатель изменяется от 7,0 до 9,0. Коэффициент метаморфизации $g_{Na/Cl}$ составляет 0,92–0,99 для хлоридно-кальциевого, хлоридно-магнезиевого типов и 1,00–1,13 — для гидрокарбонатно-натриевого. Коэффициент Cl/Br изменяется незначительно (203,9–280,6). В водах доминирующих типов ионы кальция содержатся в количестве 4,3–15,0 мг-экв/дм³, гидрокарбонатно-натриевого типа — 1,0–7,5 мг-экв/дм³; гидрокарбонат-иона — 4,2–10,8 мг-экв/дм³ и 9,4–16,4 мг-экв/дм³, соответственно. Количество магния не превышает 7,0 мг-экв/дм³ (см. табл. 2).

Микрокомпонентный состав представлен йодом (0,9–7,1 мг/дм³), бромом (8,0–29,2 мг/дм³), бором (1,3–8,9 мг/дм³), железом (0,3–0,6 мг/дм³). По величине минерализации (≤ 15 г/дм³), низкому содержанию в большинстве проб йода (≤ 5 мг/дм³) и брома (≤ 25 мг/дм³) воды не имеют бальнеологического значения для наружного применения.

Водорастворенный газ пробам не представлен. По региональным данным, состав метановый, газонасыщенность подземных вод — 1,0–1,5 м³/м³ [3].

Неокомский водоносный комплекс представлен песчаниками, алевролитами и аргиллитоподобными глинами ереямской (без низов апта), запольярной и верхней части мегионской свит (около 700–800 м). Подстилающим водоупором комплекса являются глины марьяновской и нижней части мегионской свит суммарной мощностью около 200 м.

Пористость и проницаемость пород-коллекторов значительно ниже относительно апт-альб-сеноманского комплекса, значения коэффициентов составляют: $K_p = 12\text{--}18\%$, $K_{пр} = 1\text{--}60 \cdot 10^{-3} \text{ мкм}^2$.

Дебиты, полученные из отложений запольярной свиты на Равнинном и Холмистом месторождениях, составили 28,3–39,0 м³/сут, при СДУ порядка 900 м, в скв. 665Р — 1,3 м³/сут через штуцер $d = 4$ мм. Водоносные горизонты ереямской свиты опробованы на Воргенском месторождении в интервалах 1 972,5–1 980 м и 2 228–2 236 м. Притоки достигали 206,3–251,1 м³/сут при СДУ = 318,5–259,5 м, соответственно (см. табл. 1).

Подземные воды неокомского комплекса на Равнинном месторождении аналитическими данными не охарактеризованы. Для изучения их химического состава привлечены результаты анализов двадцати четырех проб (в основном представлены ереямская и мегионская свиты), отобранных из разведочных и добывающих скважин близрасположенных месторождений (Воргенское, Холмистое, Фестивальное).

Пластовые воды имеют хлоридный натриевый состав. В разрезе комплекса преобладает хлоридно-кальциевый тип вод по В. А. Сулину. В единичных пробах (ереямская свита) встречены гидрокарбонатно-натриевый (Воргенское месторождение) и хлоридно-магниевый тип (Фестивальное месторождение).

Вниз по разрезу комплекса отмечается закономерный рост минерализации вод доминирующего типа, величина которой изменяется в диапазоне 13,3–31,2 г/дм³ (преобладает 15–20 г/дм³). В большинстве случаев минимальные значения (13,3–15,4 г/дм³) отмечены в интервале отложений ереямской свиты на Холмистом месторождении, максимальные (29,5–31,2 г/дм³) — мегионской свиты на Фестивальном.

Активная среда вод нейтральная, реже слабощелочная ($pH = 6,2\text{--}8,2$). Коэффициент $гNa/гCl$ составляет 0,75–0,97 — для хлоридно-кальциевого, хлоридно-магниевого типа, 1,01 — для гидрокарбонатно-натриевого. Хлорбромный коэффициент изменяется от 199,8 до 403,9.

Содержание ионов кальция в хлоридно-кальциевых, хлоридно-магниевых водах изменяется от 10,4 до 117,8 мг-экв/дм³ (преобладают 21,7–87,8 мг-экв/дм³), в гидрокарбонатно-натриевых составляет 9,1 мг-экв/дм³. Содержание ионов магния повышается до 13,2 мг-экв/дм³ (редко до 29,9 мг/дм³). Гидрокарбонат-ион в хлоридно-кальциевых, хлоридно-магниевых водах возрастает до 14,6 мг-экв/дм³, а в гидрокарбонатно-натриевых по одной пробе равен 12,4 мг-экв/дм³.

Из микрокомпонентов определены: йод — до 10,9 мг/дм³, бром — 38,3–50,8 (иногда достигает 55,6 мг/дм³), бор — 14,4 мг/дм³ (см. табл. 2).

Подземные воды содержат растворенный газ метанового состава. Газонасыщенность вод по региональным данным составляет 1,2–2,5 м³/м³ [3].

Юрский водоносный комплекс представлен песчаниками, алевролитами, чередующимися с аргиллитоподобными глинами. Подземные воды

комплекса не имеют надежного водоупора с трещинными водами верхней части фундамента. Вскрытая мощность комплекса совместно с обводненной зоной трещиновато-выветрелых образований доюрского основания в районе работ может достигать 1 000 м и более.

Водонапорная толща характеризуется сложным строением: существенной неоднородностью литологического состава и фильтрационных свойств.

Верхняя часть комплекса отличается лучшими коллекторскими свойствами и наиболее изучена в связи с поисково-разведочными работами на нефть (пласт Ю₁ васюганской свиты). По геофизическим исследованиям скважин пористость в среднем по пластам изменяется от 15,9 до 17,0 %, проницаемость — от 8,7 до 28,6 мД.

Водообильность комплекса обычно невысокая, изучена в интервале верхнеюрских отложений. Дебиты непереливающих притоков на Равнинном месторождении изменяются от 3,4 м³/сут при СДУ 247,5 м до 67,2 м³/сут при депрессии 105,1 атм (см. табл. 1).

Гидрохимическая характеристика комплекса приведена по аналитическим данным тридцати пяти проб, отобранных в основном из продуктивных отложений васюганской свиты Равнинного и соседних месторождений.

По химическому составу подземные воды хлоридные натриевые, преимущественно хлоридно-кальциевого, редко гидрокарбонатно-натриевого типа по В. А. Сулину (Северо-Еркальская площадь). Подземные воды ниже-среднеюрских отложений и трещиноватой зоны фундамента представлены единичными пробами.

Минерализация хлоридно-кальциевых вод изменяется в широком диапазоне: 26,1–40,3 г/дм³ — в верхнеюрских, 28,0 г/дм³ — в среднеюрских, 31,9 г/дм³ — в нижнеюрских породах и 29,4–46,8 г/дм³ — в образованиях палеозоя. Кислотно-щелочная среда вод нейтральная (рН = 6,1–8,0). Отношение гNa/гCl изменяется от 0,84 до 0,96, Cl/Br — от 240,4 до 362,6 (см. табл. 2).

Содержание ионов в составе вод для натрия + калия закономерно повышается с глубиной — до 398,4–613,1 мг-экв/дм³, хлора — до 430,0–670,0 мг-экв/дм³. Количество кальция составляет 25,9–92,3 мг-экв/дм³, магния — не более 19,2 мг-экв/дм³, гидрокарбоната несколько увеличивается — до 18,2 мг-экв/дм³. Сульфат-ион зафиксирован в незначительном количестве (меньше 1,5 мг-экв/дм³), карбонат-ион не обнаружен.

Микрокомпонентный состав вод следующий: йод — от 1,7 до 6,5 мг/дм³, бром — 57,1–81,8 мг/дм³, бор — 4,2–14,9 мг/дм³ (единично — 64,2 мг/дм³).

Состав водорастворенного газа — метановый. По результатам анализов проб Равнинного и Восточно-Воргенского месторождений в пластовых водах содержится: метана — 86,88–94,51 %, тяжелых углеводородов — 1,50–5,50 %, азота — 2,43–3,83 %, углекислого газа — 0,19–1,44 %.

По региональным данным, в пределах изучаемого района газонасыщенность вод изменяется от 1,5 до 3,0 м³/м³ [3].

Таким образом, по составу пластовые воды мезозойского бассейна в районе Равнинного месторождения преимущественно принадлежат к хло-

ридно-кальциевому типу (по В. А. Сулину). Трансформация их состава тяготеет к завершающей стадии и стабилизации гидрогеохимического поля. Рассматривая данный факт по классическим представлениям В. А. Сулина (1948 г.) о засолении подземных вод с глубиной, можно заключить, что происходила смена типов вод: гидрокарбонатно-натриевый → сульфатно-натриевый → хлоридно-магниевый → хлоридно-кальциевый.

Палеотектонические и палеогеоморфологические реконструкции

Геологический разрез района исследований представлен метаморфическими породами палеозойского комплекса и осадочными отложениями мезозойско-кайнозойского чехла. Исходя из анализа структурных карт по сейсмическому горизонту А (основание осадочного чехла) и Б (поверхность баженовской свиты и ее аналогов) и увязки со смежными территориями, на эрозионно-тектонической выветрелой (в верхней части) поверхности фундамента с большим перерывом плащеобразно залегают юрские отложения с пологими углами наклона.

Отложения мезозойско-кайнозойского осадочного чехла в районе Равнинного месторождения сформированы (снизу вверх) образованиями юрской, меловой, палеогеновой и четвертичной систем. Осадочные отложения мезозоя в пределах описываемой территории на полную мощность не вскрыты ни одной скважиной и сведений о составе доюрского основания здесь не имеется. Судя по смежным участкам, где вскрыт фундамент, он представлен сланцами, метаморфизованными аргиллитами, алевролитами, вулканогенно-осадочными породами, порфиритами ранне-среднепалеозойского возраста. Геологическое строение Равнинного месторождения отображено на примере волновой картины по сейсмическим данным (рис. 1). Сейсмостратиграфическая привязка основных отражающих горизонтов на временном разрезе к реальным геологическим границам проведена по комплексу данных МОГТ и ГИС с привлечением геологической информации.

В тектоническом отношении Равнинное локальное поднятие расположено в северо-восточной части Равнинной мезоседловины, в зоне сочленения Толькинской впадины, Верхнеколикъеганской моноклинали, Верхнеаганского мегапрогиба и Стахановско-Харампурского крупного вала. Характеристика тектонического строения Равнинного локального поднятия позволяет проследить морфологию участка работ с привязкой к палеогеографии и палеогидрогеологии.

Для восстановления истории тектонического развития площади работ и палеореконструкций на разные этапы геологической истории использованы фондовые материалы. Структурные и палеоструктурные построения, позволяющие проследить форму локальных поднятий на различных этапах их развития и для различных стратиграфических поверхностей, позволяют сделать вывод, что за всю геологическую историю развития поверхность фундамента значительных изменений не претерпела. Все структурные элементы, которые мы видим на современном структурном плане, уже существовали в раннеюрское время и сохранились вплоть до позднего мела. Незначительное погружение испытывала восточная часть участка в период с тоарского времени до начала волжского века. Затем восточная

часть вновь поднималась, о чем свидетельствует уменьшение толщины ба-
женовской свиты.

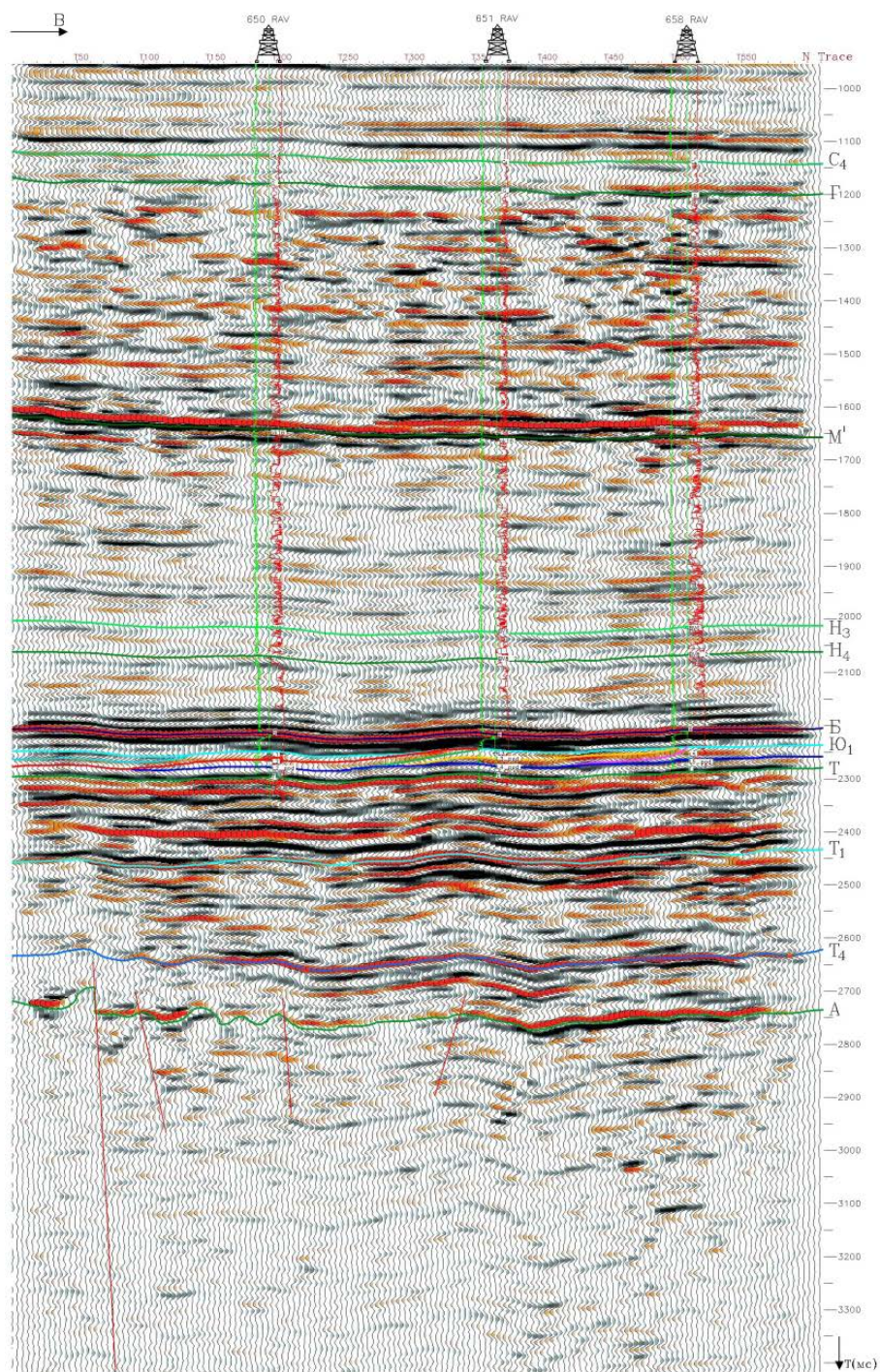


Рис. 1. Геологическое строение Равнинного месторождения
по волновым данным. Line 150

Структурные планы юрских отложений в течение геологической истории не претерпевали существенных изменений. До оксфордского века включительно отмечается некоторое прогибание юго-восточной части участка. В последующие этапы геологической истории там наблюдается подъем, и основные черты структурно-тектонического строения всей восточной территории сформировались к концу сеноманского века. Центральные и западные районы участка работ в ранне-среднеюрское время были подвержены эпейрогеническим движениям, но существенных перестроек структурных планов не отмечается.

Активизация тектонических процессов началась в верхнеюрское время. Западная часть территории испытывала погружение весь период, начиная с киммериджского века и до конца сеноманского. Восточная и центральная части были относительно приподнятыми и, возможно, служили источниками сноса терригенного материала. Наиболее вероятно, в пределах Равнинного лицензионного участка в верхнеюрское время существовали переходная зона мелководного шельфа и субконтинентальная равнина, периодически заливаемая морем, то есть благоприятные условия для накопления песчаного материала. Исходя из палеотектонических и палеогеоморфологических условий того времени, в восточной части территории песчаный материал почти не накапливался.

Основные черты строения кровли верхнеюрских песчаников к концу аптского века в целом сформировались, за исключением юго-западной части территории.

Западная часть территории продолжала испытывать погружение и в раннемеловое время. Подъем начался лишь в конце сеноманского века, а завершился, вероятно, в палеогене.

По поверхности складчатого фундамента (отражающий горизонт «А») Равнинное локальное поднятие имеет форму купола. Анализ структурных планов по различным отражающим горизонтам позволяет говорить о недостаточной их сходимости по конфигурации и размерам. Особенно сильная перестройка структурных планов происходила в валанжинское время. На геологическое развитие структуры повлияла изменявшаяся во времени тектоническая активность Верхнеаганского мегапрогиба. Равнинное локальное поднятие прослеживается по всему разрезу. При этом наиболее рельефно отражается в юрских отложениях (горизонты «Т₁», «Т₄» и «Б»), а наиболее пологими формами представлено в верхней части разреза (горизонт «Г»). С момента зарождения поднятия в раннеюрское время оно существовало в виде замкнутой структуры, создающей благоприятные условия для накопления и сохранения залежей углеводородов. В разрезе Равнинного месторождения продуктивность установлена в отложениях васьуганской свиты верхней юры.

Выявленные залежи Равнинного месторождения нефтяные. Безусловно, формирование залежей происходило под влиянием разрывных нарушений на миграцию флюидов [1, 14].

Условия осадконакопления на площади отличаются сложностью распределения песчаного материала. Влияние разрывной тектоники сформировало различные по типу структурные залежи углеводородов (литологически и тектонически экранированные).

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Основные черты геологического строения исследуемой площади заложились в доюрское время и обусловлены блоковым строением доюрского основания.

2. В пределах исследуемой площади развита сеть разломов. Разломы преимущественно север-северо-восточного и север-северо-западного направлений.

3. По результатам проведенного палеоанализа на протяжении всего юрского периода площадь работ не претерпевала значительных изменений в этапах своего развития. Унаследованный характер привел к формированию в юрских отложениях структур облекания поднятий палеозойского фундамента.

Келловей-оксфордские отложения углефицированы. Данный факт может свидетельствовать о континентальном генезисе осадков. Однако наличие выдержанных по латерали песчаных пластов свидетельствует об их формировании в прибрежно-морских условиях, то есть это указывает на полифациальную обстановку осадконакопления [15]. В западном, северо-западном направлениях происходил снос песчаного материала.

Район Равнинного месторождения приурочен к переходной зоне условий формирования келловей-оксфордских отложений, которые в литолого-фациальном отношении формировались в полифациальных обстановках осадконакопления с присутствием мелководно-морских, прибрежно-морских условий с участием дельтовых и континентальных отложений (рис. 2). В пределах участка работ выделяются две зоны: подводная аккумулятивная равнина (шельф) и равнина аккумулятивная, временами заливавшаяся морем.

Как видим, геологическое строение и условия формирования келловей-оксфордских отложений на Равнинном месторождении под влиянием переходных условий осадконакопления (от морских к континентальным), а также сложной палеогеоморфологической обстановки отразились на характере распределения коллекторов в песчаных пластах. Здесь развиты сложнопостроенные ловушки с преобладанием структурно-литологических.

На рассматриваемой территории отложения неокома формировались в шельфовых условиях осадконакопления. Никаких следов каналов поступления осадков не видно (рис. 2 б). Осадки практически однородны.

Геотемпературные особенности района исследований

Температурный режим по разрезу Пуровского района обусловлен глубиной залегания и литолого-петрофизическими свойствами пород.

Существенная нестационарность теплового поля Западной Сибири оказала влияние на формирование и изменение температурного режима осадочного чехла. По данным работы [16], причиной такой нестационарности являются колебания климата в позднечетвертичный период. По геотермическим расчетам, возмущение геотемпературного поля на исследуемой территории достигает 5 % и более до глубин 4–5 км. В верхней части разреза осадочного чехла это привело к формированию многолетнемерзлых пород (ММП). Территория Равнинного участка приурочена к Верх-

нетазовской области центральной геокриологической зоны, для которой характерно развитие двуслойной мерзлоты [5].

Верхний слой ММП в пределах геокриологической области распространен крайне неравномерно. Особенность изучаемого района — частая встречаемость небольших по площади участков с ММП в пределах пойм рек. Температура мерзлых пород в поймах рек колеблется от $-0,1$ до $-0,8$ °С, чаще всего она составляет $-0,2 \div -0,4$ °С.

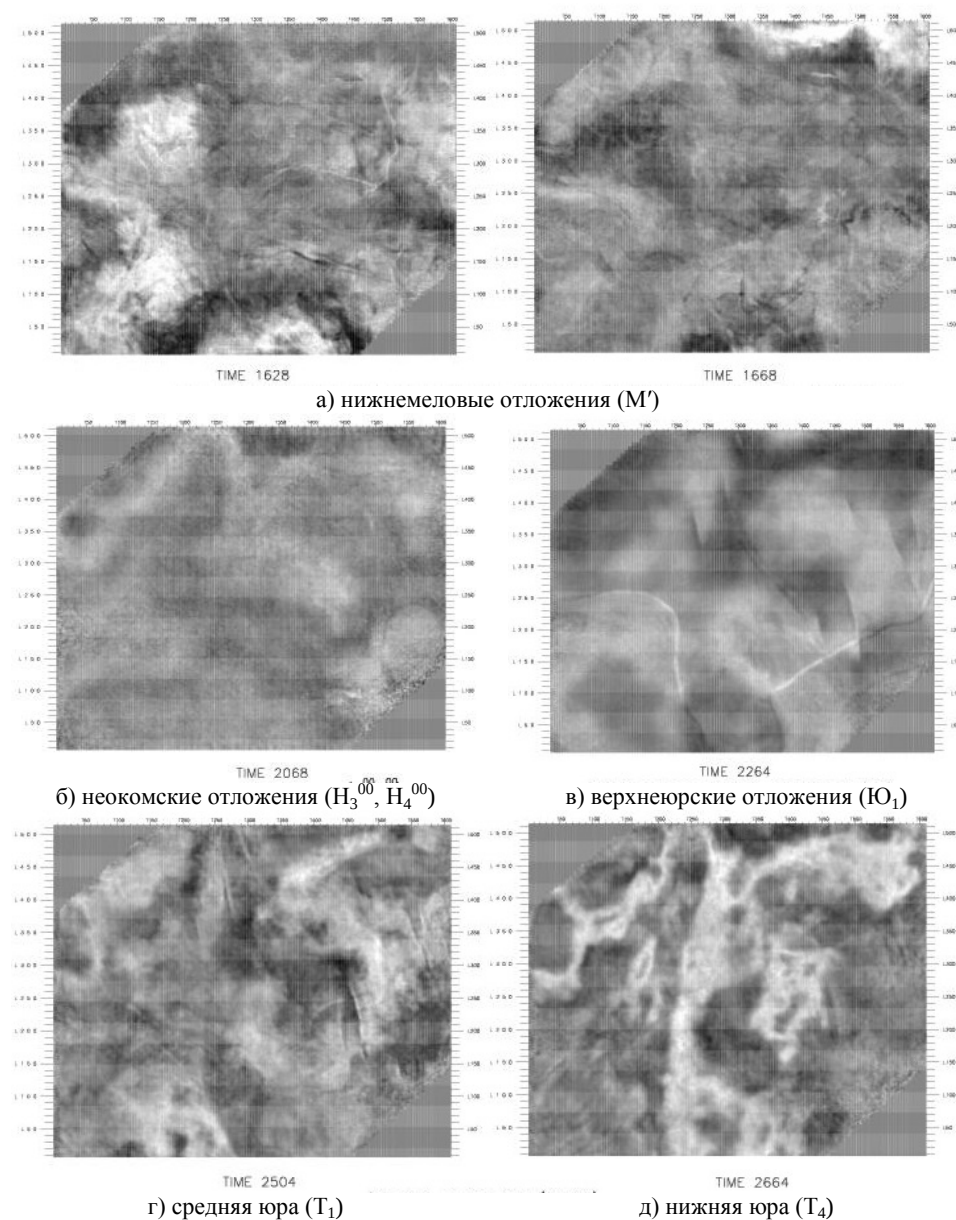


Рис. 2. Горизонтальные срезы, иллюстрирующие наличие палеоканалов в меловых и юрских отложениях (условия осадконакопления: а), в), г), д) — прибрежно-морские; б) — шельфовые)

Древний (погребенный) слой ММП широко развит по площади и залегает на глубинах 150–200 м. Мощность этого слоя около 100–150 м. Он, как правило, отсутствует на поймах и под акваториями озер. По данным термометрии, проведенной в разведочной скв. 651 Равнинного месторождения, отрезок с замеренными отрицательными градиентами температур или отсутствием таких градиентов приурочен к глубинам 120–220 м (рис. 3).

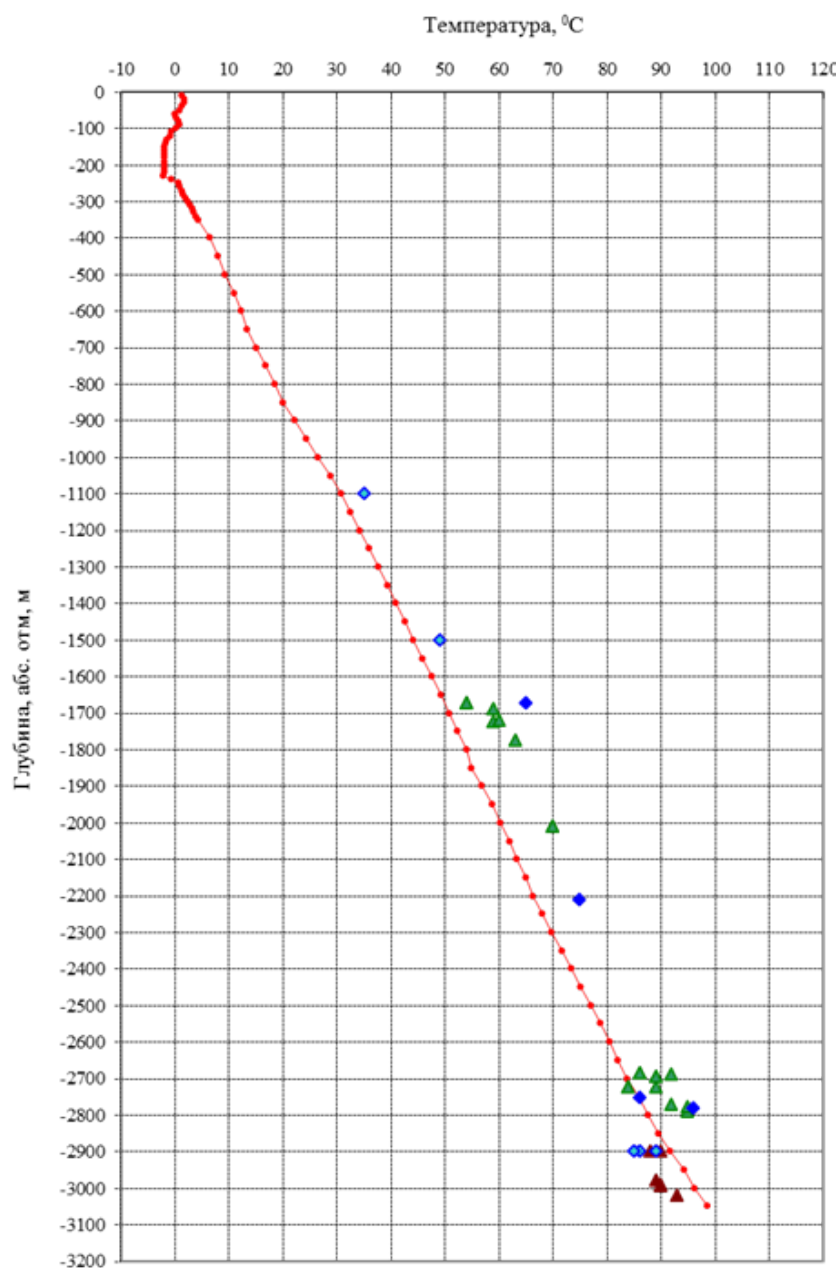


Рис. 3. Изменение температур горных пород по разрезу осадочного чехла Равнинного месторождения

В целом территорию Западной Сибири можно дифференцировать на две достаточно крупные зоны: северную и южную, граница между которыми проходит вблизи параллели 62°с.ш. Район Равнинного месторождения относится к северной зоне, здесь отсутствуют значительные вариации величины глубинного теплового потока, являющейся интегральной характеристикой энергетической активности недр. Расчет глубинного теплового потока [16, 17] почти по всему району не превышает 50–55 мВт/м². Территория Равнинного участка не в полной мере охарактеризована геотермической информацией, поэтому для описания геотемпературных условий используются и региональные данные. В разрезе мезозойского гидрогеологического бассейна температуры, замеренные в интервале апт-альб-сеноманского комплекса, составили +38 ÷ +58 °С, неокомского комплекса — +65 ÷ +86 °С, юрского комплекса и трещиноватых пород фундамента — +88 ÷ +108 °С. По разрезу осадочного чехла распределение температур (по данным термограммы скважины Равнинного месторождения) подчиняется региональным закономерностям теплового поля (см. рис. 3).

Гидродинамические особенности района исследований

Согласно существующей схеме водонапорных систем Западно-Сибирского мегабассейна [1, 18], территория Равнинного месторождения приурочена к элизионной геодинамической системе Ямало-Гыданских линеаментов. Пурский желоб Ямало-Тазовской мегасинеклизы представляет собой сложно построенную депрессию над Колтогорско-Уренгойским грабен-рифтом в фундамент [14]. Гидрогеологические условия глубоких нефтегазоносных горизонтов описываемой территории осложнены приграничным расположением между элизионной литостатической и элизионной геодинамической водонапорными системами [1].

Движение подземных вод направлено в основном от обрамлений бассейна к центральным районам и далее на север. Вероятно, разгрузка подземных вод моноклиналичного склона мезозойского бассейна направлена в сторону Тазовской губы [19, 20].

Выводы

Гидрогеохимические условия нижнего гидрогеологического этажа Равнинного месторождения подвержены влиянию элизионной геодинамической водонапорной системы Ямало-Гыданских линеаментов и происходящих неотектонических процессов. Предполагается связь между прямой вертикальной гидрогеохимической зональностью подземных вод мезозойского гидрогеологического бассейна, которая прослеживается в увеличении минерализации с глубиной, и наличием пониженных значений пластовых давлений в юрских отложениях. Анализ палеогеографических и палеогидрогеологических условий района исследований позволил отнести воды глубоких горизонтов к седиментогенным, подвергшимся значительной метаморфизации.

Список источников

1. Матусевич, В. М. Геодинамика водонапорных систем Западно-Сибирского нефтегазоносного мегабассейна / В. М. Матусевич, О. В. Бакуев. – Текст : непосредственный // Советская геология. – 1986. – № 2. – С. 117–122.
2. Гидрогеология СССР. Т. 16. Западно-Сибирская равнина : (Тюменская, Омская, Новосибирская и Томская область) / М-во геологии РСФСР, Зап.-Сиб. науч.-исслед. геол.-развед. нефтяной ин-т (Зап.-СибНИГНИ), науч.-исслед. ин-т геологии Арктики (НИИГА) ; под ред. В. А. Нуднера. – Москва : Недра, 1970. – 368 с. – Текст : непосредственный.
3. Гидрогеология Западно-Сибирского нефтегазоносного мегабассейна и особенности формирования залежей углеводородов / Всесоюз. нефт. н.-и. геол.-развед. ин-т ; под редакцией Н. М. Кругликова [и др.]. – Ленинград : Недра : Ленингр. отд-ние, 1985. – 279 с. – Текст : непосредственный.
4. Матусевич, В. М. Геохимия подземных вод Западно-Сибирского артезианского бассейна / В. М. Матусевич. – Москва : Недра, 1976. – 158 с. – Текст : непосредственный.
5. Геокриология СССР. Западная Сибирь / В. Т. Трофимов, Ю. К. Васильчук, В. В. Баулин [и др.] ; под редакцией Э. Д. Ершова. – Москва : Недра, 1989. – 454 с. – Текст : непосредственный.
6. Матусевич, В. М. Геофлюидальные системы и проблемы нефтегазоносности Западно-Сибирского мегабассейна / В. М. Матусевич, А. В. Рыльков, И. Н. Ушатинский. – Тюмень : ТюмГНГУ, 2005. – 225 с. – Текст : непосредственный.
7. Бешенцев, В. А. Подземные воды севера Западной Сибири (в пределах Ямало-Ненецкого нефтегазодобывающего региона) : монография / В. А. Бешенцев, Т. В. Семенова ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Тюменский государственный нефтегазовый университет. – Тюмень : ТюмГНГУ, 2015. – 223 с. – Текст : непосредственный.
8. Сальникова, Ю. И. О геохимической стабильности подземных вод аптальб-сеноманского комплекса в связи с разработкой нефтяных месторождений Западной Сибири / Ю. И. Сальникова. – Текст : непосредственный // Актуальные проблемы нефти и газа : тезисы доклада 4-й Всероссийской молодежной научной конференции, 20–22 октября 2021 г. / Институт проблем нефти и газа РАН ; отв. ред. И. М. Индрупский. – Москва : ИПНГ РАН, 2021. – С. 30.
9. Крайнов, С. Р. Гидрогеохимия / С. Р. Крайнов, В. М. Швец. – Москва : Недра, 1992. – 463 с. – Текст : непосредственный.
10. Ходжакулиев, Я. А. Палеогидрогеологические исследования при поисках нефти и газа / Я. А. Ходжакулиев, Л. А. Абукова. – Москва : Недра, 1985. – 208 с. – Текст : непосредственный.
11. Подземные воды мезозойского гидрогеологического бассейна в пределах северной части Западно-Сибирского мегабассейна : монография / В. А. Бешенцев, Т. В. Семенова, Р. Н. Абдрашитова, М. Д. Заватский ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Тюменский индустриальный университет. – Тюмень : ТИУ, 2021. – 171 с. – Текст : непосредственный.
12. Чувашов, Г. И. Гыданско-Тазовская природная зона / Г. И. Чувашов. – Санкт-Петербург : ВСЕГЕИ, 1997. – 180 с. – Текст : непосредственный.
13. Бешенцев, В. А. Техногенное воздействие на подземные воды Ямало-Ненецкого нефтегазодобывающего региона и оценка степени их защищенности / В. А. Бешенцев, Т. В. Семенова. – DOI 10.31660/0445-0108-2015-4-20-24. – Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2015. – № 4. – С. 20–24.

14. Матусевич, В. М. Роль литогенеза, зон разломов и рифтовых систем в перераспределении вещества и энергии в Западно-Сибирском мегабассейне / В. М. Матусевич, А. В. Рыльков, И. Н. Ушатинский – Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2004. – № 2. – С. 4–11.
15. Геология и нефтегазоносность Надым-Пур-Тазовского междуречья. – Текст : непосредственный // Труды 1-й Пуровской геологической конференции ; под редакцией Н. Х. Кулахметова, Б. В. Никулина. – Тюмень – Тарко-Сале : ЗапСибНИГНИ, 1995. – 257 с.
16. Курчиков, А. Р. Геотермия нефтегазоносных областей Западной Сибири / А. Р. Курчиков, Б. П. Ставицкий, – Москва : Недра, 1987. – 134 с. – Текст : непосредственный.
17. Нестеров, И. И. Соотношение современных и максимальных палеотемператур в осадочном чехле Западно-Сибирской плиты / И. И. Нестеров, А. Р. Курчиков, Б. П. Ставицкий. – Текст : непосредственный // Известия академии наук СССР. Серия : геология. – 1982. – № 2. – С. 112–120.
18. Матусевич, В. М. Крупнейшие геодинамические водонапорные системы Западно-Сибирского мегабассейна / В. М. Матусевич, Р. Н. Абдрашитова, Т. Ю. Яковлева – Текст : непосредственный // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 8 (часть 6). – С. 1400–1407.
19. Гидрогеохимические условия нефтегазовых областей Ямало-Ненецкого нефтегазодобывающего региона (часть 1) / В. А. Бешенцев, Ю. И. Сальникова, Р. Н. Абдрашитова, С. В. Воробьева. – DOI 10.31660/0445-0108-2019-5-10-22. – Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2019. – № 5. – С. 10–22.
20. Гидрогеохимические условия нефтегазовых областей Ямало-Ненецкого нефтегазодобывающего региона (часть 2) / В. А. Бешенцев, Ю. И. Сальникова, Р. Н. Абдрашитова, С. В. Воробьева. – DOI 10.31660/0445-0108-2019-6-19-30. – Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2019. – № 6. – С. 19–30.

References

1. Matusevich, V. M. & Bakuyev, O. V. (1986). Geodinamika vodonapornykh sistem Zapadno-Sibirskogo neftegazonosnogo megabasseyina. Sovetskaya geologiya, (2), pp. 117-122. (In Russian).
2. Nudner, V. A. (Ed.) (1970). Gidrogeologiya SSSR. Tom 16. Zapadno-Sibirskaya ravnina : (Tyumenskaya, Omskaya, Novosibirskaya i Tomskaya oblast). Moscow, Nedra Publ., 368 p. (In Russian).
3. Kruglikov, N. M., Nelyubin, V. V., & Yakovlev, O. N. (Eds) (1985). Gidrogeologiya Zapadno-Sibirskogo neftegazonosnogo megabasseyina i osobennosti formirovaniya zalezhey uglevodorodov. Leningrad, Nedra Publ., Leningradskoe otделение, 279 p. (In Russian).
4. Matusevich, V. M. (1976). Geokhimiya podzemnykh vod Zapadno-Sibirskogo artziyanskogo basseyina. Moscow, Nedra Publ., 158 p. (In Russian).
5. Trofimov, V. T., Vasil'chuk, Yu. K., Baulin, V. V., Pavlova, O. P., Firsov, N. G., Dubikov, G. I.,... Ershov, E. D. (1989). Geokriologiya SSSR. Zapadnaya Sibir'. Moscow, Nedra Publ., 454 p. (In Russian).
6. Matusevich, V. M., Ryl'kov, A. V., & Ushatinskiy, I. N. (2005). Geoflyuidal'nye sistemy i problemy neftegazonosnosti Zapadno-Sibirskogo megabasseyina. Tyumen, Tyumen State Oil and Gas University Publ., 225 p. (In Russian).

7. Beshentsev, V. A., & Semenova, T. V. (2015). Podzemnye vody severa Zapadnoy Sibiri (v predelakh Yamalo-Nenetskogo neftegazodobyvayushchego regiona). Tyumen, Tyumen State Oil and Gas University Publ., 223 p. (In Russian).
8. Salnikova, Yu. I. (2021) O geokhimicheskoy stabil'nosti podzemnykh vod apt-al'b-senomanskogo kompleksa v svyazi s razrabotkoy neftyanykh mestorozhdeniy Zapadnoy Sibiri. Abstracts of Papers of the 4th All-Russian Conference Actual Problems of Oil and Gas. Moscow, Institute of Oil and Gas Problems of the Siberian Branch of the RAS Publ., pp. 30. (In Russian).
9. Kraynov, S. R., & Shvets, V. M. (1992) Gidrogeokhimiya. Moscow, Nedra Publ., 463 p. (In Russian).
10. Khodzhakuliev, Ya. A., & Abukova, L. A. (1985). Paleogidrogeologicheskie issledovaniya pri poiskakh nefti i gaza. Moscow, Nedra Publ., 208 p. (In Russian).
11. Beshentsev, V. A., Semenova, T. V., Abdrashitova, R. N. & Zavatskiy, M. D. (2021). Podzemnye vody mezozoyskogo gidrogeologicheskogo basseyna v predelakh severnoy chasti Zapadno-Sibirskogo megabasseyna. Tyumen, Industrial University of Tyumen Publ., 171 p. (In Russian).
12. Chuvashov, G. I. (1997). Gydansko-Tazovskaya prirodnyaya zona. St. Petersburg, VSEGEI Publ., 180 p. (In Russian).
13. Beshentsev, V. A., & Semenova, T. V. (2015). Technogenic impact on Yamalo-Nenets oil and gas producing region ground waters and assessment of their protection degree. Oil and Gas Studies, (4), pp. 20-24. (In Russian). DOI: 10.31660/0445-0108-2015-4-20-24
14. Matushevich, V. M., Ryl'kov, A. V., & Ushatinskiy, I. N. (2004). Rol' litogeneza, zon razlomov i riftovykh sistem v pereraspredelenii veshchestva i energii v Zapadno-Sibirskom megabasseyne. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Neft' i gaz, (2), pp. 4-11. (In Russian).
15. Kulakhmetov, N. Kh., & Nikulin, B. V. (1995). Geologiya i neftegazonosnost' Nadym-Pur-Tazovskogo mezhdurech'ya. Trudy 1-y Purovskoy geologicheskoy konferentsii, Tyumen - Tarko-Sale, ZapSibNIGNI Publ., 257 p. (In Russian).
16. Kurchikov, A. R., & Stavitskiy, B. P. (1987). Geotermiya neftegazonosnykh oblastey Zapadnoy Sibiri. Moscow, Nedra Publ., 134 p. (In Russian).
17. Nesterov, I. I., Kurchikov, A. R., & Stavitskiy, B. P. (1982). Sootnoshenie sovremennykh i maksimal'nykh paleotemperatur v osadochnom chekhle Zapadno-Sibirskoy plity. Izvestiya Akademii Nauk SSSR, Seriya: geologiya, (2), pp. 112-120. (In Russian).
18. Matushevich, V. M., Abdrashitova, R. N., Yakovleva, T. Yu. (2014). Largest geodynamic water pressure system of the West Siberian megabasin. Fundamental research, (8(chast' 6)), pp. 1400-1407. (In Russian).
19. Beshentsev, V. A., Salnikova, Yu. I., Abdrashitova, R. N., & Vorobjeva, S. V. (2019). Hydrogeochemical conditions of oil and gas areas in Yamalo-Nenets oil and gas producing region (Part 1). Oil and Gas Studies, (5), pp. 10-22. (In Russian). DOI: 10.31660/0445-0108-2019-5-10-22
20. Beshentsev, V. A., Salnikova, Yu. I., Abdrashitova, R. N., & Vorobjeva, S. V. (2019). Hydrogeochemical conditions of oil and gas areas in Yamalo-Nenets oil and gas producing region (Part 2). Oil and Gas Studies, (6), pp. 19-30. (In Russian). DOI: 10.31660/0445-0108-2019-6-19-30

Информация об авторах

Сальникова Юлия Ивановна, заведующий лабораторией Западно-Сибирского института проблем геологии нефти и газа Тюменского индустриального университета, аспирант, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, salnikova.julja@rambler.ru

Беженцев Владимир Анатольевич, доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры геологии месторождений нефти и газа, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

Information about the authors

Yulia I. Salnikova, Head of Laboratory of the West Siberian Institute of Oil and Gas Geology of Industrial University of Tyumen, Postgraduate, Industrial University of Tyumen, salnikova.julja@rambler.ru

Vladimir A. Beshentsev, Doctor of Geology and Mineralogy, Professor at the Department of Geology of Oil and Gas fields, Industrial University of Tyumen

Статья поступила в редакцию 29.03.2022; одобрена после рецензирования 12.04.2022; принята к публикации 23.04.2022.

The article was submitted 29.03.2022; approved after reviewing 12.04.2022; accepted for publication 23.04.2022.