УДК 556.3 (550.832)
DOI: 10.31660/0445-0108-2022-4-41-56

Применение данных геофизических исследований для прогноза производительности водозаборных скважин в северной части Шаимского нефтегазодобывающего района

Ю. О. Русакова[1, 2]*, А. Г. Плавник[1, 2], Л. А. Ковяткина[2]

[1]*Западно-Сибирский филиал Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, Тюмень, Россия*
[2]*Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия*
**rusakova@tmnsc.ru*

Аннотация. Объектом исследования является куртамышский водоносный горизонт олигоцена, который представляет собой толщу переслаивающихся песков, глин и алевритов. С целью выбора в разрезе и по площади изучения наиболее водообильных интервалов для каптажа водозаборными скважинами использованы данные геофизических исследований скважин различного назначения. Методика работ включала интерпретацию кривых гамма-каротажа (ГК), нормировку отсчетов, полученных в различных условиях измерений, определение граничных значений двойного разностного параметра естественной радиоактивности, оценку возможности его применения для характеристики фильтрационных свойств водовмещающих пород. По результатам анализа гидрогеологической информации выполнен парный корреляционный анализ ряда характеристик эксплуатации водозаборных скважин. Определено, что со значением двойного разностного параметра эксплуатируемого интервала водоносного горизонта наиболее взаимосвязаны дебит и удельный дебит водозаборных скважин. По данным интерпретации кривых ГК скважин, равномерно расположенных по площади исследования, построены карты площадного и глубинного распространения наиболее перспективных интервалов каптажа водозаборных скважин. Выявлено, что наибольшую прогнозную производительность будут иметь скважины на севере центральной части территории исследования. Результаты исследования имеют методическое и прикладное значение и могут быть использованы при проектировании водозаборов подземных вод.

Ключевые слова: глинистость, двойной разностный параметр естественной радиоактивности, удельный дебит, корреляция

Для цитирования: Русакова, Ю. О. Применение данных геофизических исследований для прогноза производительности водозаборных скважин в северной части Шаимского нефтегазодобывающего района / Ю. О. Русакова, А. Г. Плавник, Л. А. Ковяткина. – DOI 10.31660/0445-0108-2022-4-41-56 // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2022. – № 4. – С. 41–56.

Application of well testing data to forecast the productivity of water intake well in the northern part of the Shaimsky oil and gas producing area

Yulia O. Rusakova[1, 2]*, Andrey G. Plavnik[1, 2], Lyubov A. Kovyatkina[2]

[1]*West Siberian Division of Trofimuk Institute of Petroleum-Gas Geology and Geophysics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tyumen, Russia*
[2]*Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia*
**rusakova@tmnsc.ru*

Abstract. The search for the most watered intervals in the section of the Kurtamysh horizon is an urgent task for providing the population with drinking water. Well testing data were used for this purpose. The methodology of the work included interpretation of gamma logging curves, normalization of samples obtained under various measurement conditions. The boundary values of the double difference parameter of natural radioactivity are determined. The possibility of using this method to characterize the filtration properties of rocks is evaluated. Statistical processing of data on the operation of water intake wells was carried out. The closest correlations have been established for the flow rate and specific flow rate of wells with a double difference parameter of natural radioactivity. According to the interpretation of the curves of the gamma logging of wells, forecast maps of the most promising intervals of the captage of water intake wells are constructed. The results of the study have methodological and applied significance, and can be used in the design of groundwater intakes.

Keywords: clay content, double difference parameter of natural radioactivity, specific flow rate, correlation

For citation: Rusakova, Yu. O., Plavnik, A. G., & Kovyatkina, L. A. (2022). Application of well testing data to forecast the productivity of water intake well in the northern part of the Shaimsky oil and gas producing area. Oil and Gas Studies, (4), pp. 41-56. (In Russian). DOI: 10.31660/0445-0108-2022-4-41-56

Введение

Практика разработки месторождений углеводородов на территории старейшего Шаимского нефтегазодобывающего района (НГР), расположенного в западной части ХМАО — Югры (рис. 1), в последние десятилетия предусматривает применение метода поддержания пластового давления (ППД).

В качестве рабочего агента для данных целей используются пресные подземные воды куртамышского горизонта. Основным требованием к источнику водоснабжения является достаточный для закачки дебит, а также необходимый запас понижения уровня при отборе воды из скважины для обеспечения бесперебойной работы насосного оборудования. В связи с этим весьма актуальной задачей является выбор в разрезе наиболее водообильных интервалов с предварительной оценкой гидрогеологических параметров. Эта задача решается в данной работе на основании анализа результатов геофизических исследований скважин (ГИС), проведенных в районе исследования.

Изучаемая территория расположена в пределах Западно-Сибирского сложного артезианского бассейна пластовых напорных и безнапорных вод, разрез которого сложен мощной толщей осадочных пород. Целевой водоносный горизонт олигоценового возраста в районе исследования приурочен к отложениям куртамышской свиты и представляет толщу переслаивающихся песков, глин и алевритов. Верхняя часть горизонта, преимущественно алеврито-глинистая, является относительным водоупором. Средняя и нижняя части, сложенные более отсортированными мелкозернистыми слабоглинистыми кварцевыми песками с линзами и прослоями песчаных глин, являются продуктивными.

Кровля горизонта залегает на глубине 26–80 м, общая мощность изменяется в пределах 36–71 м. Нижним водоупором горизонту служат глины тавдинской свиты эоцена (рис. 2).

Геологические и гидрогеологические условия зоны пресных подземных вод в районе исследования изучены различными по масштабу и назначению работами.

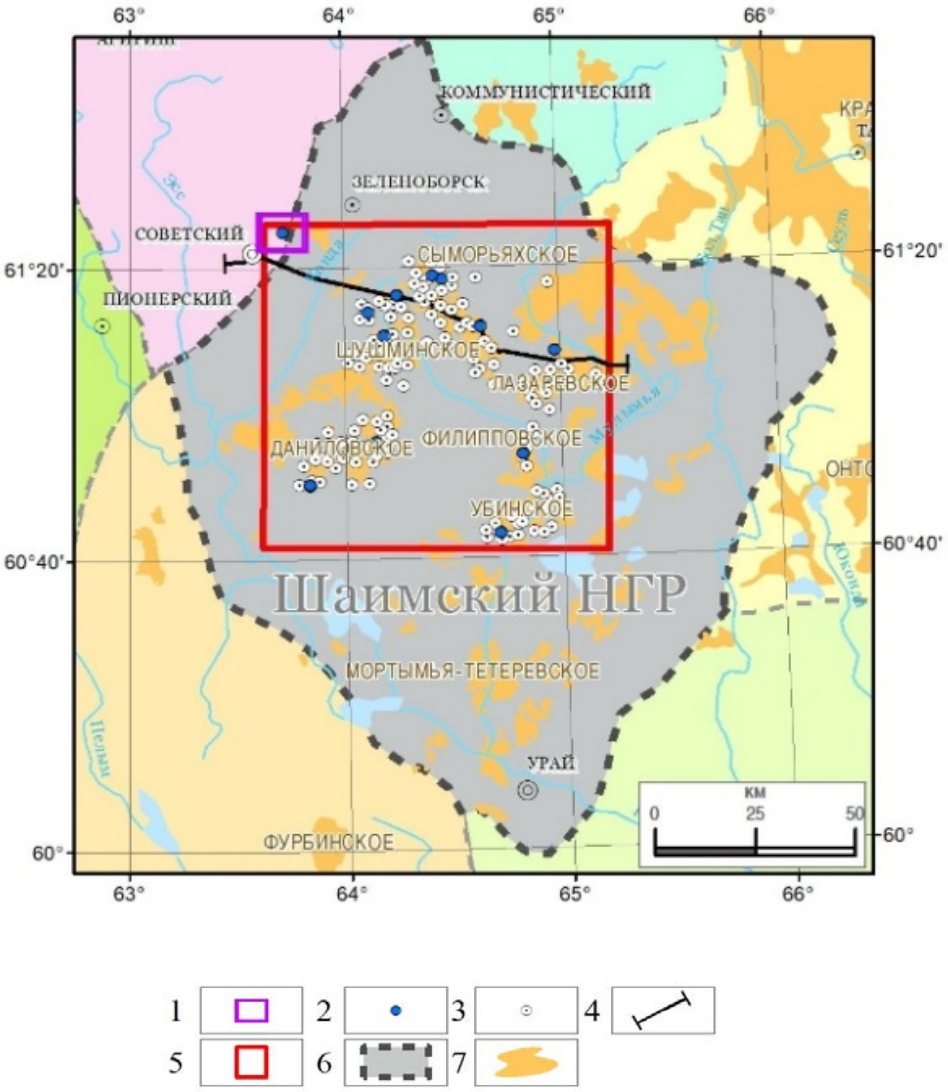


Рис. 1. ***Обзорная карта района исследования:*** *1 — эталонный участок; 2 — водозаборная скважина, опробованная откачкой; 3 — скважина, исследованная геофизическим каротажем; 4 — линия гидрогеологического разреза; 5 — область исследования; 6 — контур Шаимского НГР; 7 — контур месторождения углеводородов*

В конце 80-х годов прошлого столетия здесь проведена геологическая съемка масштаба 1:200 000 [1,2,3], результаты которой используются для стратиграфического расчленения разреза.

В период 1967–2016 гг. на территории исследования с различным масштабом и скоростью записи выполнен значительный объем геофизического каротажа нефтяных разведочных скважин, который, ввиду целевого назначения, в интервале залегания куртамышского горизонта представлен только записью кривых естественной радиоактивности (ГК) в обсаженных и зацементированных стволах скважин. Из-за несопоставимости значений измерений без определенных преобразований результаты данных работ в практике гидрогеологических исследований используются, как правило, на качественном уровне для литологического расчленения разреза, без количественной характеристики геофизических параметров пород.

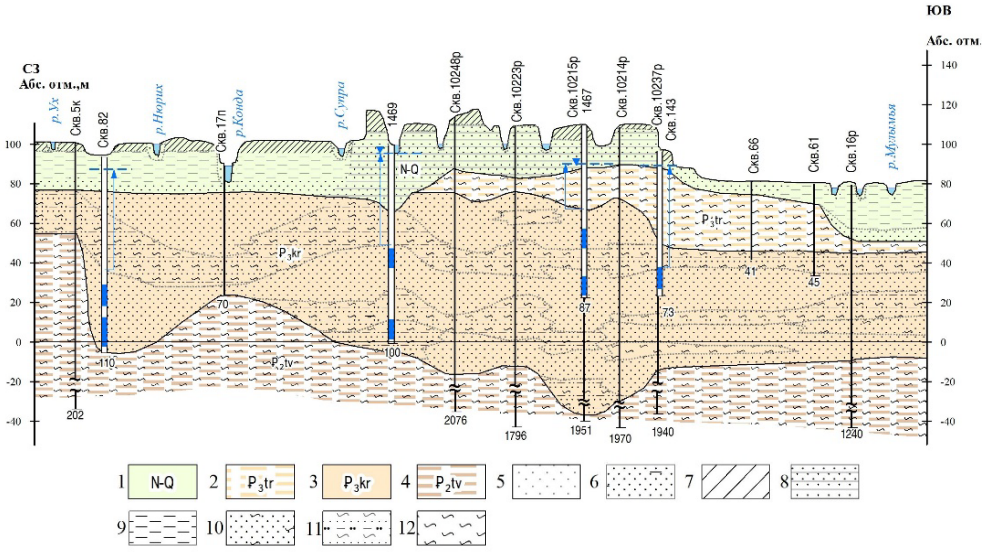


Рис. 2. ***Схематический геолого-гидрогеологический разрез района исследования:*** *1 — водоносный неоген-четвертичный комплекс (пески, супеси, суглинки, глины, алевриты); 2 — водоупорный туртасский горизонт (глины, алевриты); 3 — водоносный куртамышский горизонт (пески, глины, алевриты); 4 — водоупорный тавдинский горизонт (глины, алевриты); 5 — пески; 6 — пески глинистые четвертичные; 7 — суглинки; 8 — переслаивание суглинков и песков; 9 — глины песчаные; 10 — пески глинистые; 11 — переслаивание песков, глин, алевритов; 12 — глины плотные*

[1] Смирнов И. И. Геологическое строение Северного Зауралья. Отчет Сосьвинской геологосъемочной партии о результатах групповой съемки масштаба 1:200 000 листов P-41V, VI, XIV-XVIII, XX-XXIV, XXVIII-XXX, XXXIV и геологического доизучения листов P-41-II-IV, VIII-XII, проведенных в 1982–89 гг. – Тюмень: ФБУ ТФГИ по УРФО, 1989. – 187 с.

[2] Смирнов И. И. Каталог месторождений и проявлений кремнисто-опаловых пород по Ханты-Мансийскому автономному округу (Тюменская область). Основные направления применения кремнисто-опаловых пород в народно-хозяйственных целях. – Ханты-Мансийск, 1991. – 100 с.

[3] Унифицированные региональные стратиграфические схемы неогеновых и палеогеновых отложений Западно-Сибирской равнины: объяснительная записка. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 2001. – 84 с.

В настоящее время на нефтяных кустах для водоснабжения системы ППД во вновь пробуренных водозаборных скважинах выполняется комплекс ГИС, в том числе ГК, однако, по экономическим соображениям, отбора керна и его лабораторного исследования при этом не производится, поэтому связь «керн — геофизика» установить невозможно. В то же время опытными откачками определяется водообильность каптируемого интервала, рассчитываются удельный дебит и коэффициенты водопроводимости и пьезопроводности, что позволяет сопоставить геофизические и гидрогеологические параметры.

Наиболее полным, в плане объединения гидрогеологической и геофизической информации о целевом водоносном горизонте, представляется опыт детальной разведки Советского месторождения пресных подземных вод (крайняя северо-западная часть района исследования)[4]. В ходе работ выполнены бурение водозаборных скважин и геофизический каротаж в их стволах, отбор керна и его лабораторный анализ физико-механических свойств, проведены опытные откачки с определением гидрогеологических параметров. Исходя из наличия достаточно большого комплекса информации, этот участок используется в данной работе в качестве эталонного.

Объект исследования

Объектом исследования являются водовмещающие породы куртамышского горизонта олигоцена, водообильность которых в данной работе характеризуется на основании данных гидрогеологического опробования и геофизических исследований скважин различного назначения.

Исходными данными для исследования являются результаты ГК и гидрогеологического опробования 18 водозаборных скважин в пределах эталонного участка, 10 водозаборных скважин, расположенных на нефтяных кустах, а также данные ГК 131 нефтяной разведочной скважины в интервале целевого водоносного горизонта.

Методы исследования

Геофизические методы широко и достаточно результативно используются для определения коллекторских свойств пород, особенно глубоких водоносных и нефтегазоносных пластов.

Для выбора оптимальной методики интерпретации данных ГИС скважин изучены теоретические основы различных методов и оценена возможность использования имеющихся данных применительно к поставленной задаче [1–10].

В качестве основного метода выбран гамма-каротаж скважин, основанный на естественной радиоактивности песчано-глинистых пород.

[4] Нестерова Н. Е., Поветкина Г. А., Сверчкова О. А. Отчет о результатах объединенных стадий разведки пресных подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения пос. Советский в 1990–95 гг. – М.: Росгеолфонд, 1996. – 260 с.

На первом этапе систематизированы и изучены данные гамма-каротажа и гидрогеологического опробования водозаборных скважин на эталонном участке. Выполнена интерпретация кривых ГК, выполнено нормирование отсчетов. В результате определены граничные значения параметров. Путем сопоставления данных гранулометрического анализа керна скважины, отобранного в нескольких интервалах, со значениями геофизического параметра оценена возможность применения данных ГК для характеристики фильтрационных свойств (ФС) водовмещающих пород.

На втором этапе аналогично проанализированы данные по водозаборным скважинам в районе исследования.

На следующем этапе на основании полученных результатов выполнены поиск и анализ взаимозависимых гидрогеологических и геофизических характеристик, определены наиболее коррелируемые.

Далее, для возможности прогноза водообильности водозаборных скважин, с учетом необходимых условий их эксплуатации, проинтерпретированы кривые ГК нефтяных разведочных скважин, достаточно равномерно распределенных по площади исследования.

На основе данных интерпретации построены карты пространственного распределения геофизического параметра. Картопостроение выполнено с использованием современного программного продукта GST [11]. Пакет GST содержит широкий набор математических методов интерполяции и аппроксимации, что позволяет выбрать необходимый алгоритм для повышения точности модели картируемого объекта.

Исходя из практики многолетней эксплуатации на территории исследования известно, что наиболее оптимальным является выбор каптажного интервала мощностью не менее 16 м на достаточной для обеспечения запаса понижения уровня воды в скважине глубине (от 30 м). Этот критерий учитывался при интерпретации кривых ГК нефтяных разведочных скважин для получения по ним геофизической характеристики водовмещающих пород в целом по площади исследования.

При интерпретации каротажных диаграмм основным признаком глинистых отложений является положительная аномалия кривых ГК, максимальная их амплитуда в районе исследования приурочена к глинам тавдинской свиты. Для песков отмечается обратная зависимость — отрицательная аномалия кривых ГК, приуроченная к наиболее песчаным интервалам изучаемого разреза. Переходные значения на каротажных диаграммах интерпретируются как интервалы переслаивания песчано-алеврито-глинистых отложений (рис. 3).

Для получения численной геофизической характеристики литологических разностей разреза, возможности сопоставления полученных значений по разным скважинам и исключения при этом влияния условий измерений применяется нормирование значений ГК с использованием безразмерной величины двойного разностного параметра естественной радиоактивности (ΔJ_γ — ДРП, усл. ед.) [1, 2]

$$\Delta J_\gamma = \frac{J_x - J\,\min}{J\,\max - J\,\min}, \qquad (1)$$

где J_x — показания ГК по кривой в целевом интервале; J min — минимальные показания ГК; J max — максимальные показания ГК.

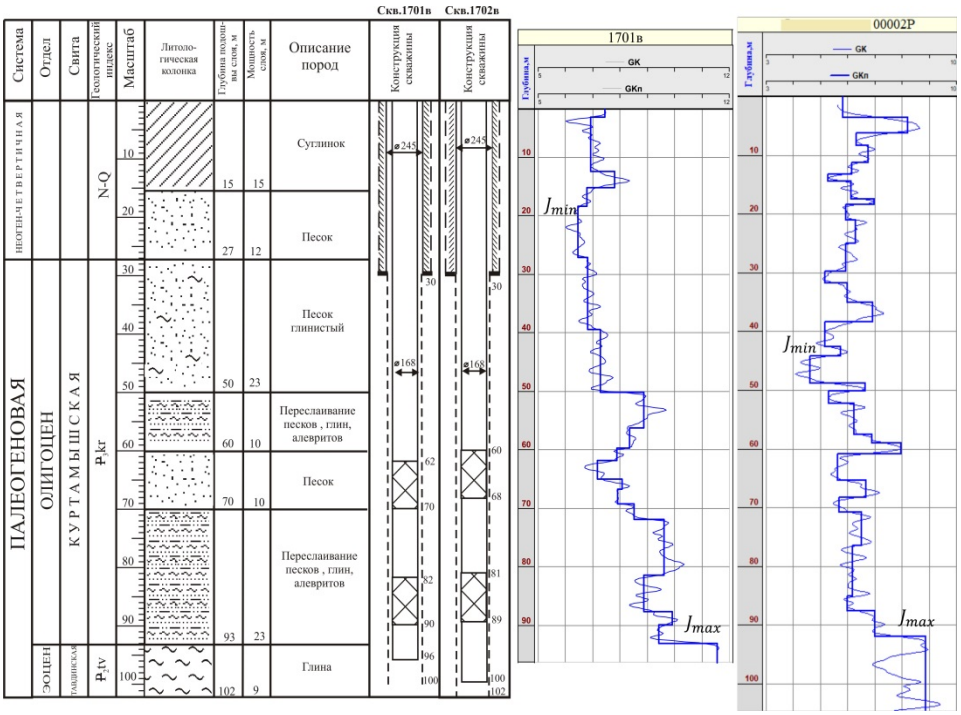


Рис. 3. ***Интерпретация кривых ГК водозаборной и нефтяной разведочной скважин***

Известно, что глинистость пород влияет на их ФС [1–4], которые, в свою очередь, определяют каптажные характеристики водозаборных скважин. Основными гидрогеологическими параметрами, используемыми при прогнозных расчетах водозаборов и отражающими сумму факторов, от которых зависят каптажные характеристики скважины, являются ее удельный дебит (q, дм^3/с/м) — величина отношения дебита скважины к понижению уровня при откачке, а также водопроводимость водовмещающих пород (km, м^2/сут). При этом значение удельного дебита является непосредственно измеренной величиной и не зависит от субъективной интерпретации, которая может сказаться на значении коэффициента водопроводимости при графоаналитическом методе его определения. Ввиду отсутствия для исследуемой территории данных лабораторных определений коэффициентов фильтрации, пористости и проницаемости пород целевого горизонта удельный дебит и водопроводимость являются их безальтернативными гидрогеологическими характеристиками.

Методика нормирования значений записи кривых ГК с применением ДРП естественной радиоактивности широко используется в практике геофизических работ [1, 5]. Использование ДРП для характеристики указанных выше гидрогеологических параметров куртамышского водоносного горизонта на территории исследования применяется впервые.

Математические методы обработки геолого-геофизической информации позволяют получить значительное количество различных показателей по изучаемому объекту, выбрать наиболее значимые и провести корреляцию между ними. Статистические методы обработки информации весьма удобно проводить с помощью специальных пакетов программ. Простыми и надежными из них являются STATISTICA, EXCEL [12] и другие программы [7, 13–18].

Результаты исследования и их обсуждение

На эталонном участке водозаборные скважины опробованы с дебитом 1,0–8,33 дм^3/с. Полученные при этом значения удельного дебита изменяются в пределах 0,05–1,43 дм^3/с/м, водопроводимости — в пределах 147–804 м^2/сут. В результате интерпретации кривых ГК пород куртамышского горизонта получены средние значения ДРП: от 0,17 (для эксплуатируемого интервала), до 0,31 (для общей мощности пород водоносного горизонта) (табл. 1).

Таблица 1

Гидрогеологические и геофизические параметры водозаборных скважин

Показатель	Кол-во скважин	Дебит, D, дм^3/с	Удельный дебит, q, дм^3/с/м	Водопроводимость, km, м^2/сут	Мощность, м		Средневзвешенное по мощности значение ДРП, усл.ед.		
					Общая	Эффективная	Общей мощности	Эффективной мощности	Эксплуатируемого интервала
Эталонный участок									
Среднее значение	18	4,59	0,61	411	47	32	0,26	0,19	0,17
Минимальное значение		1,00	0,05	147	36	18	0,07	0,05	0,05
Максимальное значение		8,33	1,43	804	69	49	0,44	0,31	0,30
Среднеквадратичное отклонение		2,18	0,46	187	9	10	0,09	0,06	0,07
Коэффициент вариации		0,48	0,74	0,45	0,19	0,30	0,35	0,34	0,44
Водозаборные скважины района									
Среднее значение	10	5,23	0,35	491	61	46	0,32	0,30	0,27
Минимальное значение		4,44	0,18	422	36	22	0,24	0,23	0,16
Максимальное значение		10,0	0,90	554	93	68	0,39	0,36	0,37
Среднеквадратичное отклонение		1,64	0,20	40	16	16	0,05	0,05	0,07
Коэффициент вариации		0,31	0,58	0,08	0,27	0,34	0,15	0,15	0,28

Водозаборные скважины на современных участках нефтедобычи опробованы с дебитом 4,44–10,0 дм^3/с. Значения удельного дебита изменяются в пределах 0,18–0,90 дм^3/с/м, водопроводимости — 422–554 м^2/сут. В результате интерпретации кривых ГК пород целевого горизонта получены сопоставимые с эталонным участком средние значения ДРП: от 0,27 (для эксплуатируемого интервала), до 0,32 (для общей мощности пород водоносного горизонта) (см. табл. 1).

Зависимость значений ДРП пород керна скважины 9п эталонного участка от суммарного процентного содержания глинистых частиц (СПСГ) в них, определенного лабораторным путем, оценивается как прямая тесная (с коэффициентом корреляции 0,96) (рис. 4). Наличие тесной зависимости подтверждает возможность применения ДРП для характеристики глинистости водовмещающих пород.

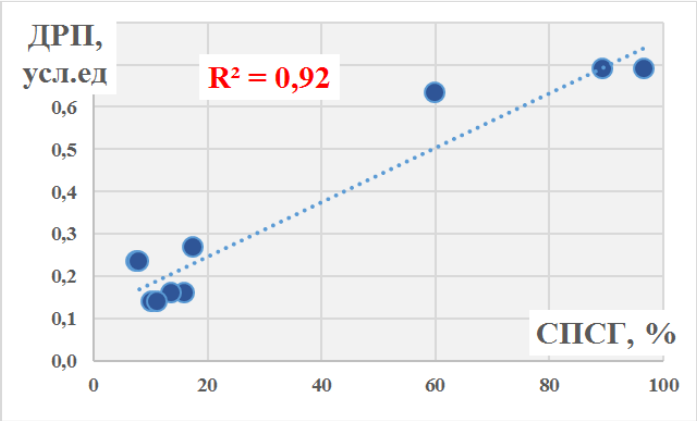


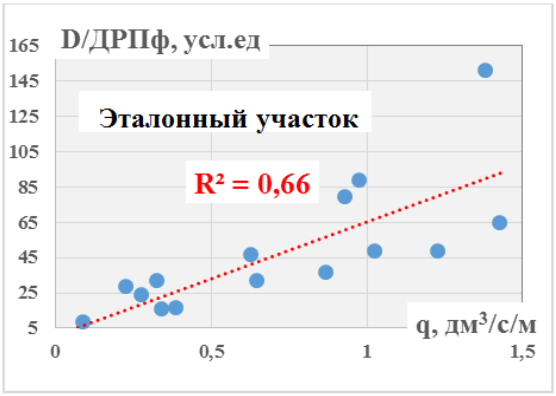
Рис. 4. ***График корреляционной зависимости СПСГ и ДРП пород интервала отбора керна скважины 9п эталонного участка***

Матрица корреляций значений гидрогеологических параметров — удельного дебита (q) и водопроводимости пород (km) со значениями ряда характеристик эксплуатации водозаборных скважин: дебит (D, дм^3/с), общая и эффективная мощность водоносного горизонта (mг, mп, м), мощность и глубина интервала опробования (lф, hф м), ДРП пород горизонта (по общей эффективной мощности и интервала опробования, усл. ед.) представлена в таблице 2. На основании полученных значений коэффициентов корреляции указанных величин можно отметить, что наиболее связаны с гидрогеологическими параметрами дебит скважин и ДРП пород каптируемого интервала. Наибольшее значение коэффициента корреляции (0,81 на эталонном участке и 0,98 — по данным опробования водозаборных скважин района) имеет зависимость удельного дебита скважин от величины отношения дебита скважины к ДРП каптируемого интервала (рис. 5).

Таблица 2

Коэффициенты корреляции гидрогеологических параметров с характеристиками эксплуатации водозаборных скважин

Показатель	Удельный дебит, q, дм³/с/м		Водопроводимость, km, м²/сут	
	Эталонный участок	Водозаборные скважины района	Эталонный участок	Водозаборные скважины района
Дебит, D, дм³/с	**0,82**	**0,87**	0,56	-0,62
Общая мощность, mг, м	0,36	-0,39	0.58	-0,28
Эффективная мощность, $m_{ф}$, м	0,14	-0,41	0,20	-0,49
Мощность интервала опробования, *lф*,м	-0.28	0,44	-0,40	0.00
Глубина интервала опробования, *hф* м	0,45	0,14	0,62	-0,32
ДРП по общей мощности, усл.ед	-0.49	0,00	-0,30	-0.14
ДРП по эффективной мощности, усл.ед.	-0,60	**-0.79**	-0.59	-0.1
ДРПф каптируемого интервала, усл.ед.	**-0,77**	**-0.80**	-0.51	0,00
D/ДРПф	**0,81**	**0,98**	0,59	-0,20



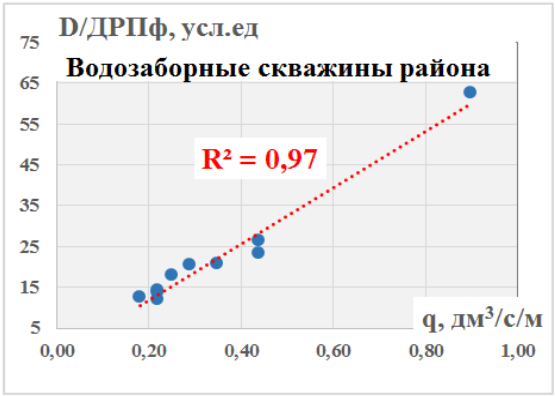


Рис. 5. ***Графики корреляционных зависимостей удельного дебита и отношения дебита скважины к ДРП каптируемого интервала***

Известно, что дебит скважин связан с удельным дебитом, однако при равном дебите скважин на величину понижения уровня в водозаборной скважине оказывают влияние фильтрационные свойства пород каптируемого интервала, а также другие факторы. Наиболее вероятные из них: несовершенство скважины по характеру и степени вскрытия, мощность пород, вовлеченных в гидродинамическое возмущение, величина перетекания из смежных горизонтов и др. Влияние данных факторов на величины гидрогеологических параметров требует отдельного изучения.

По результатам интерпретации ГК нефтяных разведочных скважин на площади исследования (табл. 3) установлено, что продуктивные интервалы залегают на глубине до 129 м, полученные значения ДРП пород этих интервалов (0,01–0,33) сопоставимы со значениями, характерными для каптажных интервалов водозаборных скважин как на эталонном участке, так и в целом в районе.

Таблица 3

Значения параметров по результатам интерпретации нефтяных разведочных скважин

Показатель	Кол-во скважин	Глубина залегания продуктивного интервала, м	ДРП интервала каптажа
Среднее значение	131	57	0,15
Минимальное значение		30	0,01
Максимальное значение		129	0,33
Среднеквадратичное отклонение		20	0,06
Коэффициент вариации		0,36	0,41

Карты пространственного распределения ДРП каптируемого интервала отражены на рисунке 6.

На основании анализа карт пространственного распределения ДРП можно отметить, что глубина залегания продуктивных интервалов увеличивается в направлении с юга на север, при этом наименьшими значениями ДРП характеризуются продуктивные интервалы в центральной и северной частях территории.

Учитывая тот факт, что максимальная глубина залегания каптируемого интервала обеспечивает наибольший запас понижения уровня при работе скважины, а минимальная глинистость — лучшие ФС пород, можно предположить, что наиболее благоприятные условия эксплуатации (большая водообильность) существуют для водозаборных скважин, проектируемых на севере центральной части территории исследования.

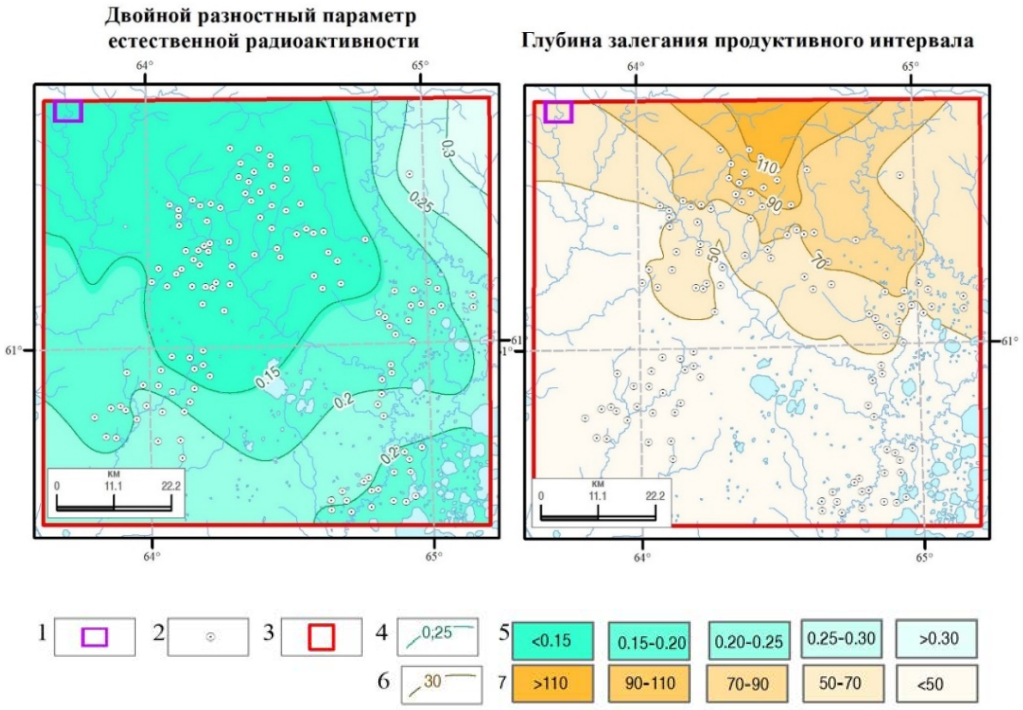


Рис. 6. ***Карты-схемы значений ДРП и прогнозных глубин залегания продуктивных интервалов:*** *1 — эталонный участок; 2 — скважина разведочная, исследованная геофизическим каротажем (цифры — номер и значение ДРП); 3 — область исследования; 4 — изолиния значения ДРП; 5 — область значения ДРП; 6 — изолиния глубины интервала, м; 7 — область глубин залегания продуктивных интервалов, м*

Выводы

В результате проведенных исследований на территории северной части Шаимского НГР определены граничные значения двойного разностного параметра естественной радиоактивности (геофизической характеристики глинистости пород) куртамышского водоносного горизонта: 0,07–0,44 — в целом по общей мощности, 0,01–0,37 — для интервала каптажа.

Отмечена наибольшая корреляционная зависимость величины удельного дебита от величины отношения дебита к ДРП интервала каптажа водозаборных скважин. На основании составленных карт пространственного распределения ДРП предполагается, что наибольшую производительность будут иметь скважины на севере центральной части территории исследования.

Полученные результаты имеют прикладное значение при проектировании водозаборов подземных вод на изучаемой площади. Апробация методики, при условии наличия подобного набора геофизической и гидрогеологической информации, возможна на сопредельных территориях с аналогичными условиями.

Список источников

1. Латышова, М. Г. Обработка и интерпретация материалов геофизических исследований скважин : учебник / М. Г. Латышова, Б. Ю. Вендельштейн, В. П. Тузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Недра, 1990. – 312 с. – Текст : непосредственный.
2. Меркулов, В. П. Геофизические исследования скважин : учебное пособие / В. П. Меркулов ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Томский политехнический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического ун-та, 2016. – 146 с. – Текст : непосредственный.
3. Бурков, Ф. А. Геофизические исследования скважин : учебное пособие / Ф. А. Бурков, В. И. Исаев, Г. А. Лобова ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Томский политехнический университет. – 2-е изд., доп. – Томск : Изд-во Томского политехнического ун-та, 2017. – 110 с. – Текст : непосредственный.
4. Оценка влияния глинистости на фильтрационно-емкостные свойства коллектора / Д. Ю. Аулова, В. С. Жуков, В. В. Моторыгин [и др.]. – Текст : непосредственный // Газовая промышленность. – № 4 (721). – 2015. – С. 29–32.
5. Латышова, М. Г. Практическое руководство по интерпретации данных ГИС : учебное пособие для вузов / М. Г. Латышова, В. Г. Мартынов, Т. Ф. Соколова. – Москва : Недра-Бизнесцентр, 2007. – 327 с. – Текст : непосредственный.
6. Косков, В. Н. Установление литологической принадлежности и коллекторских свойств терригенных пластов по промыслово-геофизическим данным Баклановского месторождения / В. Н. Косков. – DOI 10.15593/2224-9923/2017.1.1. – Текст : непосредственный // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2017. – Т. 16, № 1. – С. 4–13.
7. Дюбрюль, О. Геостатистика в нефтяной геологии / О. Дюбрюль ; перевод с английского И. Ю. Облачко, под редакцией С. В. Охотиной. – Ижевск : Институт компьютерных исследований, НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2009. – 256 с. – Перевод изд.: Geostatistics in petroleum geology / Olivier Dubrule. Tulsa, Oklahoma, 1998. – Текст : непосредственный.
8. Косков, В. Н. Геофизические исследования скважин и интерпретация данных ГИС : учебное пособие / В. Н. Косков, Б. В. Косков ; Федеральное агентство по образованию, Пермский государственный технический университет. – Пермь : Изд-во Пермского государственного технического ун-та, 2007. – 316 с. – Текст : непосредственный.
9. Горбачев, Ю. И. Геофизические исследования скважин : учебник / Ю. И. Горбачев ; под редакцией Е. В. Карусева. – Москва : Недра, 1990. – 398 с. – Текст : непосредственный.
10. Rider, M. The geological interpretation of well logs / M. Rider. – 2nd edition. – Scotland : Rider-French Consulting Ltd., 2006. – 281 p. – Direct text.
11. Геокартирование на основе сплайн-аппроксимационного подхода : монография / А. Г. Плавник, А. Н. Сидоров, А. А. Сидоров, Е. С. Торопов. – Тюмень : ТИУ, 2021. – 189 с. – Текст : непосредственный.

12. Вуколов, Э. А. Основы статистического анализа. Практикум по статистическим методам и исследованию операций с использованием пакетов STATISTICA и EXCEL : учебное пособие / Э. А. Вуколов. – Москва : Форум, 2008. – 464 с. – Текст : непосредственный.

13. Поротов, Г. С. Математические методы моделирования в геологии : учебник / Г. С. Поротов ; Санкт-Петербургский государственный горный институт. – Санкт-Петербург, 2006. – 223 с. – Текст : непосредственный.

14. Губин, В. И. Статистические методы решения инженерных задач : учебное пособие / В. И. Губин, В. Н. Осташков. – Тюмень : Вектор Бук, 2006. – 195 с. – Текст : непосредственный.

15. Дойч, К. В. Геостатистическое моделирование коллекторов / К. В. Дойч ; перевод с английского, под редакцией Е. М. Бирун, Д. Н. Левина. – Москва – Ижевск : Институт компьютерных исследований, 2011. – 400 с. – Перевод изд.: Geostatistical Reservoir Modeling / Clayton V. Deutsch. Oxford, 2002. – Текст : непосредственный.

16. Белкина, В. А. Построение трехмерных моделей нефтенасыщенности. Основные проблемы и подходы к их решению / В. А. Белкина, Я. О. Антипин, А. А. Забоева. – DOI 10.18799/24131830/2021/9/3371. – Текст : непосредственный // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 332, № 9. – С. 223–237.

17. Mallet, J.-L. Geomodeling / J.-L. Mallet. – Oxford, Oxford University Press, 2002. – 624 p. – Direct text.

18. Davis, J. C. Statistics and Data Analysis in Geology / J. C. Davis. – 3rd edition. – Wiley, 2002. – 656 p. – Direct text.

References

1. Latyshova, M. G., Vendel'shteyn, B. Yu., & Tuzov, V. P. (1990). Obrabotka i interpretatsiya materialov geofizicheskikh issledovaniy skvazhin. 2nd edition, revised and expanded. Moscow, Nedra Publ., 312 p. (In Russian).

2. Merkulov, V. P. (2016). Geofizicheskie issledovaniya skvazhin. Tomsk, Tomsk Polytechnic University Publ., 146 p. (In Russian).

3. Burkov, F. A., Isaev, V. I., & Lobova, G. A. (2017). Geofizicheskie issledovaniya skvazhin. 2nd edition, revised. Tomsk, Tomsk Polytechnic University Publ., 110 p. (In Russian).

4. Aulova, D. Yu., Zhukov, V. S., Motorygin, V. V., Nurmatov, Sh. Sh., Pleshkov, I. V., & Tolstikov, A. V. (2015). Otsenka vliyaniya glinistosti na fil'tratsionno-emkostnye svoystva kollektora. Gas Industry, (4(721)), pp. 29-32. (In Russian).

5. Latyshova, M. G., Martynov, V. G., & Sokolova, M. G. (2007). Prakticheskoe rukovodstvo po interpretatsii dannykh GIS. Moscow, Nedra-Biznestsentr Publ., 327 p. (In Russian).

6. Koskov, V. N. (2017). Determination of lithologic belonging and reservoir properties of clastic formations using field geophysical survey data of Baklanovskoe field. Bulletin of PNRPU. Geology. Oil & Gas Engineering & Mining, 16(1), pp. 4-13. (In English).

7. Dubrule, O. (1998). Geostatistics in petroleum geology. Tulsa, Oklahoma (U.S.A.), the American Association of Petroleum Geologists, 256 p. (In English).

8. Koskov, B. V., & Koskov, V. N. (2007). Geofizicheskie issledovaniya skvazhin i interpretatsiya dannykh GIS. Perm, Perm State Technic University Publ., 316 p. (In Russian).

9. Gorbachev, Yu. I. (1990). Geofizicheskie issledovaniya skvazhin. Moscow, Nedra Publ., 398 p. (In Russian).

10. Rider, M. (2006). The geological interpretation of well logs. 2nd edition. Scotland, Rider-French Consulting Ltd., 281 p. (In English).

11. Plavnik, A. G., Sidorov, A. N., Sidorov, A. A., & Toropov, E. S. (2021). Geokartirovanie na osnove splayn-approksimatsionnogo podkhoda. Tyumen, Industrial University of Tyumen Publ., 189 p. (In Russian).

12. Vukolov, E. A. (2008). Osnovy statisticheskogo analiza. Praktikum po statisticheskim metodam i issledovaniyu operatsiy s ispol'zovaniem paketov STATISTICA i EXCEL. Moscow, Forum Publ., 464 p. (In Russian).

13. Porotov, G. S. (2006). Matematicheskie metody modelirovaniya v geologii. St. Petersburg, 223 p. (In Russian).

14. Gubin, V. I., & Ostashkov, V. N. (2006). Statisticheskie metody resheniya inzhenernykh zadach. Tyumen, Vektor Buk Publ., 195 p. (In Russian).

15. Deutsch, C. V. (2002). Geostatistical Reservoir Modeling. Oxford, Oxford University Press, 376 p. (In English).

16. Belkina, V. A., Antipin, Ya. O., & Zaboeva, A. A. (2021). Building three-dimensional models of oil saturation. Main problems and approaches to their solution. Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering, 332(9), pp. 223-237. (In Russian). DOI: 10.18799/24131830/2021/9/3371

17. Mallet, J.-L. (2002). Geomodeling. Oxford, Oxford University Press, 624 p. (In English).

18. Davis, J. C. (2002). Statistics and Data Analysis in Geology. 3rd edition. Wiley, 656 p. (In English).

Информация об авторах

Русакова Юлия Олеговна, *ведущий инженер, Западно-Сибирский филиал Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, лаборатория экогидрогеологии, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, rusakova@tmnsc.ru*

Плавник Андрей Гарьевич, *доктор технических наук, профессор, директор Западно-Сибирского филиала Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, заведующий лабораторией геологического моделирования, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень*

Information about the authors

Yulia O. Rusakova, *Leading Engineer, West Siberian Division of Trofimuk Institute of Petroleum-Gas Geology and Geophysics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Ecohydrogeology Laboratory, Industrial University of Tyumen, Tyumen, rusakova@tmnsc.ru*

Andrey G. Plavnik, *Doctor of Engineering, Professor, Director of the West Siberian Division of Trofimuk Institute of Petroleum-Gas Geology and Geophysics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Head of the Laboratory of Geological Modeling, Industrial University of Tyumen, Tyumen*

Ковяткина Любовь Андреевна, *старший преподаватель кафедры геологии месторождений нефти и газа, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень*

Lyubov A. Kovyatkina, *Senior Lecturer at the Department of Geology of Oil and Gas Fields, Industrial University of Tyumen*

Статья поступила в редакцию 27.06.2022; одобрена после рецензирования 05.07.2022; принята к публикации 11.07.2022.
The article was submitted 27.06.2022; approved after reviewing 05.07.2022; accepted for publication 11.07.2022.