



В.А. Гринченко
ООО «Таас-Юрях Нефтегазодобыча»¹
заместитель генерального директора –
главный геолог
grinchenkova@tyngd.rosneft.ru



А.А. Аксеновская
ООО «Таас-Юрях Нефтегазодобыча»¹
ведущий специалист
aksenovskayaaa@tyngd.rosneft.ru



Р.Р. Валеев
ООО «Таас-Юрях Нефтегазодобыча»¹
начальник отдела разработки
valeevrr1@tyngd.rosneft.ru



Е.А. Савельев
ООО «Тюменский Нефтяной Научный Центр»²
главный специалист
easavelyev@tnnc.rosneft.ru

Динамика и режим межмерзлотных подземных вод радиационно-тепловых таликов при разработке Среднеботубинского нефтегазоконденсатного месторождения

¹Россия, 664050, Иркутск, ул. Байкальская, 279.

²Россия, 625002, Тюмень, ул. Осипенко 79/1.

Обеспечение системы поддержания пластового давления на базе подземных вод в сложных гидрогеологических условиях Республики Саха (Якутия) является трудоемкой задачей, успешное решение которой зависит как от качества и объема геологоразведочных работ, так и фактической мерзлотно-гидрогеологической обстановки. В статье приводится описание опыта поиска и разработки межмерзлотных подземных вод в радиационно-тепловых таликах Среднеботубинского нефтегазоконденсатного месторождения, выполнен анализ корреляции гидрогеологических условий с аналогичными объектами в Центральной Якутии.

Ключевые слова: многолетнемерзлые породы; радиационно-тепловые талики; карбонатные породы; Западная Якутия; Центральная Якутия; корреляция; режим питания; разгрузка

В 1970-х гг. в пределах Непско-Ботубинской антеклизы открыт ряд месторождений нефти и газа, в том числе крупное по запасам обоих видов полезных ископаемых Среднеботубинское нефтегазоконденсатное месторождение (НГКМ).

Его промышленная разработка с созданием необходимой инфраструктуры началась с 2013 г. В настоящее время добыча УВС осуществляется с применением системы поддержания пластового давления (ППД). Для компенсации прогнозируемого дефицита агента заводнения

пользователем недр (ООО «Таас-Юрях Нефтегазодобыча») выполнен значительный объем геологоразведочных работ с целью поиска источников водоснабжения на базе подземных вод в весьма сложных гидрогеологических условиях (3 группа), по результатам которых в радиационно-тепловых таликах общей площадью 50 км² выявлены межмерзлотные воды, кондиционные по своему составу для использования в технологическом процессе ППД.

Среднеботуобинское НГКМ расположено на границе Мирнинского и Ленского улусов Республики Саха (Якутия) в бассейне р. Телгеспит, Курунг-Юрях, на правом берегу р. Улахан-Ботуобуя, в 130 км к юго-западу от г. Мирный. В широтном отношении находится между 60 и 61 параллелями.

Изучаемая площадь входила в область проведения гидрогеологических и инженерно-геологических съемок на листах Р-49-XXVI, XXVIII, XXIX, XXXIV в период 1988–1994 гг. [3, 5], по результатам которых выявлено наличие надмерзлотных, межмерзлотных и подмерзлотных подземных вод, описан состав водовмещающих отложений, получены первичные сведения об их водообильности; дано описание и оценка характера воздействия криогенных процессов на окружающую природную среду и инженерные сооружения.

Непосредственное изучение Среднеботуобинского НГКМ с целью поисков источников водоснабжения на базе подземных вод начато в 2014 г. и ведется по настоящее время. Первые поисково-оценочные скважины были пробурены в 2014 г. в пойме р. Телгеспит до глубины 350 м, ими вскрыты подмерзлотные воды метегеро-ичерских отложений, не удовлетворяющие по своему качеству требованиям технологического водоснабжения.

В период 2016–2017 гг. для выявления альтернативных водоносных интервалов была вы-

полнена детальная электроразведка методом становления поля в ближайшей точке (МЗСБ) по сетке, насчитывающей до 12,5 тыс. фактических точек, по результатам которой были выявлены значительные по площади таликовые зоны на водоразделах р. Телгеспит и Улахан-Ботуобуя. Данные электроразведки были подтверждены последующим бурением 29 водозаборных скважин, давших притоки пресных подземных вод от 10 до 1000 м³/сут и удовлетворяющих требованиям ОСТ 39-225-88 «Вода для заводнения нефтяных пластов. Требования к качеству».

В пробуренных скважинах были выполнены необходимые исследования по определению гидродинамических характеристик водовмещающих отложений: длительные опытно-фильтрационные работы, комплекс ГИС, включая термометрию, резистивиметрию и гидрохимические опробования.

В настоящее время по созданной водозаборной сети ведутся режимные наблюдения за напорным режимом подземных вод и водоотбором.

Территория месторождения представляет собой слаборасчлененную равнину с относительно неглубоким эрозионным врезом речных долин. Перепад высот между пойменной частью и водоразделами составляет от 40 до 60 м. Склоны водоразделов весьма пологи, на их равнинной поверхности распространен преимущественно лиственничниковый бруснично-зеленомошный лес, хвойные деревья составляют до 6% древостоя. В днищах речных долин распространен елово-лиственничный лес с густым травяно-кустарничково-моховым ерником (*рис. 1*).

Изучаемый участок находится на юго-западном приподнятом крыле Якутского артезианского бассейна в водосборном бассейне р. Улахан-Ботуобуя в криолитозоне с мощностью ММП до 150–200 м. Гидрогеологический разрез на этой территории имеет ярусное строение. Верхний гидрогеологический ярус представлен преимущественно терригенными и осадочными породами нижнеюрского и четвертичного возраста. Толща нижнеюрских отложений повсеместно заморожена, за исключением таликовых зон. Нижний гидрогеологический ярус сложен терригенными, карбонатными, в различной степени трещиноватыми (закарстованными) породами нижнего-среднего кембрия. Для них характерна интенсивная тектоническая нарушенность дизъюнктивного и пликативного типов.

Надмерзлотные воды четвертичного горизонта сосредоточены в аллювиальных отложениях третьей и четвертой надпойменных террас, представленных песками и гравийно-галечными отложениями мощностью до 20 м. Емкостные

Рис. 1.
Ландшафт Среднеботуобинского НГКМ



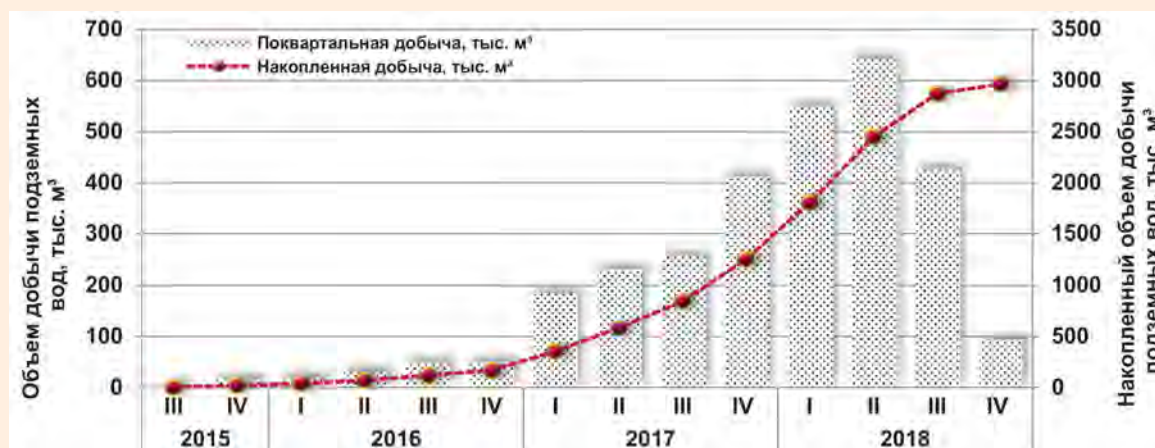


Рис. 2. Объемы добычи межмерзлотных подземных вод на Среднеботуобинском НГКМ

запасы подземных вод незначительны и контролируются мощностью сезонно-талого слоя.

Межмерзлотные воды, с которыми связан основной потенциал промышленного водоснабжения на Среднеботуобинском НГКМ, сосредоточены в контурах радиационно-тепловых таликов на водораздельных пространствах между реками Улахан-Ботуобуя и Телгеспит. Талики представлены двумя водоносными подразделениями, имеющими прямую гидравлическую связь: нижнеюрский и средне-верхнекембрийский локально-водоносные горизонты (ЛВГ).

Первый горизонт является безнапорным, он представлен разнородными песками укугутской свиты мощностью до 70 м и вскрывается на глубине 5–22 м. Статический уровень фиксируется на глубине 4–17 м. При значительном промерзании деятельного слоя может наблюдаться криогенный напор. Подземные воды по химическому составу пресные преимущественно гидрокарбонатные, реже сульфатно-гидрокарбонатные, гидрокарбонатно-сульфатные магниевые-кальциевые с минерализацией 0,25–0,76 г/дм³, жесткостью 2,75–10,1 мг-экв/дм³.

По данным непосредственного опробования на изучаемом участке горизонт обладает низкими упругими запасами подземных вод: при откачке продолжительностью 24 ч уровень опустился до подошвы горизонта на глубине 15 м. Дебит откачки изменялся от 0,3 до 1,4 дм³/с [4].

Второй горизонт является напорным, сложен осадочными карбонатными породами бордонской свиты: мергелями, доломитами с прослоями известняков и песчаников разной степени трещиноватости и закарстованности мощностью от 31 до 203 м.

Статический уровень наблюдается на глубине 6–16 м, на абсолютных отметках 385,2–376 м. При дебите откачек 2,22–6,7 дм³/с понижение

уровня воды в скважинах составило 14,5–9,3 м; удельный дебит скважин 0,15–0,72 дм³/с·м. Коэффициент водопроницаемости подтверждает высокую неоднородность фильтрационных свойств водовмещающих отложений и составляет от 10 до 700 м²/сут.

Подземные воды пресные гидрокарбонатные, редко гидрокарбонатно-сульфатные с минерализацией 0,24–0,73 г/дм³ до соленых сульфатных с минерализацией 1,28–1,58 г/дм³.

Добыча межмерзлотных пресных подземных вод на изучаемом участке в режиме опытной эксплуатации ведется с сентября 2015 г. В общей сложности за 3,5 года добыто 3 млн м³ воды (рис. 2). За рассматриваемый период в одновременной работе находились от 2 до 10 скважин, дебиты имели диапазон изменения от 100 до 1150 м³/сут.

Пик добычи подземных вод пришелся на первые три квартала 2018 г., когда суммарная производительность водозабора составила от 3000 до 9000 м³/сут (рис. 3).

За данное время в скважинах, испытывающих наибольшую дебитную нагрузку, величина понижения уровня составила 30–40 м (рис. 4), что может указывать на достижение равенства между восполнением запасов и техногенным водоотбором в радиусе питания данных скважин; по остальным понижение уровня отмечалось в пределах 10–15 м.

Подмерзлотные воды ниже-среднекембрийского водоносного горизонта сосредоточены в объеме метегерской и ичерской свит. Состав карбонатных пород представлен трещиноватыми доломитами с прослоями известняков и мергелей мощностью от 150–200 м.

Пьезометрический уровень водоносного горизонта соотносится с уровнем вышележащих водоносных горизонтов среднего и верхнего кембрия, отмечается на абсолютных отметках



Рис. 3. Динамика добычи межмерзлотных подземных вод на Среднеботуобинском НГКМ

374–377 м. При опробовании скважин удельный дебит составил от 0,025 до 1,62 дм³/с·м, изменяясь в значительной степени.

По солевому составу воды хлоридные или сульфатно-хлоридные натриевые с минерализацией 16,8–34,3 г/дм³, очень жесткие, 96–106 мг-экв/дм³; с высоким содержанием сероводорода – до 41–153 мг/дм³.

Состав геологического разреза, ландшафтные и геоморфологические условия описываемого участка имеют ряд аналогий с достаточно подробно изученными источниками подземных вод на базе радиационно-тепловых таликов в Центральной Якутии: Силарским, источниками Улахан-Тарын, Булуус и другими [2]:

- участки расположены в одной 60 широтной параллели, что обуславливает близость их радиационно-теплого баланса;

- схожие геоморфологические особенности: радиационно-тепловые талики приурочены к отложениям бестяхской надпойменной террасы реки Лены, имеющей хорошо выраженный крутой уступ высотой 20–45 м, отметки ее поверхности составляют 130–160 м;

- геологический разрез участков Центральной Якутии имеет аналогичное строение: аллювиальные песчаные отложения лежат на трещиноватых карбонатных породах кембрийского возраста, а в северной и центральной частях, начиная с бассейна ручья Улахан-Тарын, они подстилаются рыхлыми юрскими песчаниками;

- близость химического состава: все межмерзлотные воды описываемой территории относятся к гидрокарбонатному типу; среди катионов преобладает кальций, вторым по содержанию является магний. Величина минерализации (по сумме ионов) составляет 0,2–0,3 г/дм³;

- слаборасчлененный рельеф бестяхской террасы покрыт сосновой растительностью, препятствующей эоловой эрозии, аналогично ли-

ственничниковому лесу на поверхности таликов Среднеботуобинского НГКМ.

По результатам длительного изучения данных объектов-аналогов [1, 2, 6, 7] (опыт эксплуатации по отдельным участкам достигает 30 лет) определены особенности формирования и развития межмерзлотных вод зоны свободного водообмена.

1. Надмерзлотно-межмерзлотные талики обладают значительными ресурсами подземных вод, которые формируются инфильтрующимися атмосферными осадками.

2. Открытость гидрогеологической структуры обеспечивает высокую степень инфильтрации поверхностного стока благодаря песчаному составу аллювиальных отложений.

3. Влажность талых песков всегда выше мерзлых, что приводит к положительной температурной сдвигке на подошве сезонно-талого слоя за счет разности коэффициентов теплопроводности, что увеличивает интенсивность транзита инфильтрата.

4. Подземные воды межмерзлотных таликов обладают устойчивым режимом. Многолетняя изменчивость дебита источников этих вод не выходит за пределы 25% от средних значений и коррелируется с суммой атмосферных осадков.

На основе выполненных геологоразведочных работ изучаемого участка, опыта его эксплуатации и выполненного сравнительного анализа с объектами-аналогами в центральной Якутии режим питания и разгрузки радиационно-тепловых таликов Среднеботуобинского НГКМ может быть представлен следующим образом.

- I. Величина минерализации (0,1–0,2 г/дм³) и гидрокарбонатный тип подземных вод указывают на их инфильтрационный генезис.

- II. Песчаные отложения укугутской свиты способствуют повышению инфильтрации поверхностного стока, в том числе за счет описан-

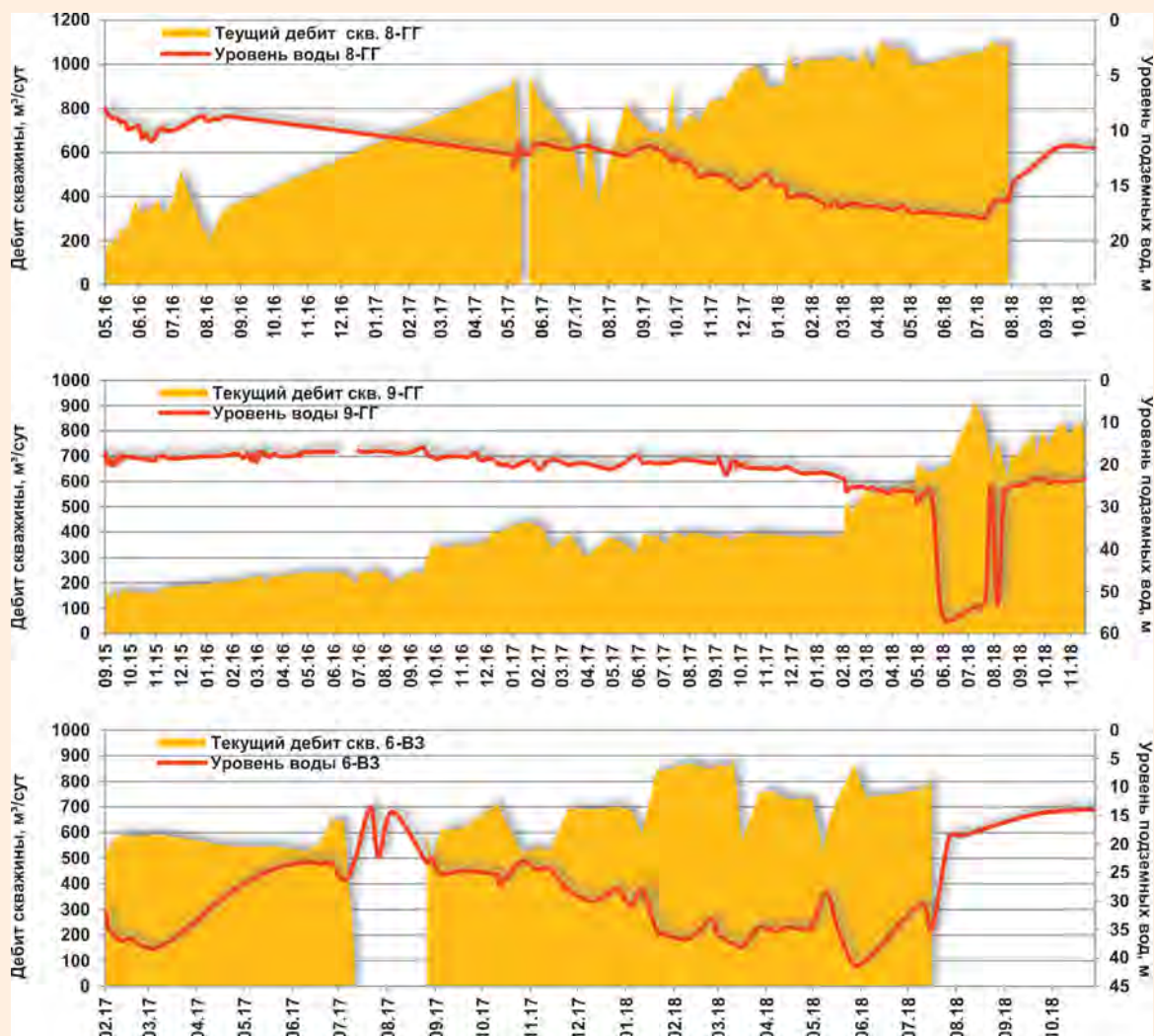


Рис. 4. Характер динамики уровня подземных вод в процессе эксплуатации отдельных скважин

ного эффекта положительной температурной сдвижки.

III. Песчаный межмерзлотный нижнеюрский ЛВГ обладает весьма низкими емкостными запасами подземных вод вследствие прямой гидравлической связи с нижележащими отложениями и является зоной вертикального транзита инфильтруемых атмосферных осадков.

IV. Основной объем инфильтрата аккумулируется в отложениях межмерзлотного средневерхнекембрийского ЛВГ (бордонская свита) в результате высокой степени трещиноватости карбонатных отложений.

V. Естественная разгрузка осуществляется в нижележащий подмерзлотный ниже-среднекембрийский ВГ. Данная гипотеза подтверждается результатами выполненных геологоразведочных работ.

В ходе гидрогеологических съемок не было выявлено естественных выходов подземных вод и наледей. Отсутствие разгрузки по бортам водоразделов к тальвегам речных долин

подтверждается результатами бурения скважин в пойменной части реки Телгеспит (1-ГГ, 2-ГГ), которыми вскрыты полностью промороженные отложения бордонской свиты.

На основе полученных сведений о мерзлотно-гидрогеологических особенностях изучаемого участка, а также опыта эксплуатации созданного водозабора планируется разработка проектно-технической документации по оптимальной промышленной эксплуатации межмерзлотных подземных вод Среднеботуобинского НГКМ.

По результатам выполненных исследований установлена весьма высокая степень корреляции ландшафтных, геоморфологических и геологических особенностей достаточно отдаленных участков в Западной и Центральной Якутии (800 км), имеющих общее расположение относительно 60 широтной параллели, что позволяет использовать описанные корреляционные признаки для повышения эффективности ГРП на подземные воды в слабоизученных районах Республики Саха (Якутия). ²⁰

Литература

1. Анисимова Н.П. Формирование химического состава подземных вод таликов (на примере Центральной Якутии). М.: Наука. 1971. 196 с.
2. Бойцов А.В. Условия формирования и режим подземных вод надмерзлотного и межмерзлотного стока в Центральной Якутии: дисс... канд. геол.-мин. наук. Якутск. 2002. 172 с.
3. Гасанов К.К. Отчет о результатах работ по комплексной гидрогеологической и инженерно-геологической съемке масштаба 1:200 000 Таас-Юряхского месторождения нефти и газа на площади листа Р-49-XXIV за 1986-1988 гг. (Юряхская партия). Ботуобинская ГРЭ. 1989. 132 с.
4. Дергачев В.Д. Технический отчет по поисково-оценочным работам на подземные воды на Среднеботуобинском НГКМ, выполненным в 2015–2016 гг. ООО «АГЭ». 150 с.
5. Красновский В.И. Отчет о результатах комплексной гидрогеологической и инженерно-геологической съемки масштаба 1:200000 на Непско-Ботуобинской нефтегазоносной площади (листы Р-49-XXVIII, XXIX, XXXIV), проведенной в 1988–1994 гг. М.: ФГИ. 1995. 110 с.
6. Толстихин О.Н. Наледи и подземные воды Северо-Востока СССР. Новосибирск: Наука. 1974. 164 с.
7. Шепелев В.В. О режиме, балансе и особенностях питания межмерзлотных вод песчаных массивов Центральной Якутии // Геокриологические и гидрогеологические исследования Якутии. Якутск. 1978. 162 с.

UDC 556.3

V.A. Grinchenko, Deputy General Director – Chief Geologist of OOO Taas–Yuryakh Neftegazodobycha¹, grinchenkova@tyngd.rosneft.ru
A.A. Aksenovskaya, Leading Specialist of OOO Taas–Yuryakh Neftegazodobycha¹, aksenovskayaaa@tyngd.rosneft.ru
R.R. Valeev, Head of Department of Development of OOO Taas–Yuryakh Neftegazodobycha¹, valeevrr1@tyngd.rosneft.ru
E.A. Savelyev, Chief Specialist of OOO Tyumen Oil Research Center², easavelyev@tnnc.rosneft.ru

¹279 Baykalskaya str., Irkutsk, 664050, Russia.

²79/1 Osipenko str., Tyumen, 625002, Russia.

Dynamics of Intrapermafrost Water in Thermo-radiation Taliks in Srednebotuobinsky Oil and Gas Condensate Field Development

Abstract. The subject of the paper is intrapermafrost water from thermo-radiation taliks used in process water supply system for reservoir pressure maintenance in the Srednebotuobinskoye oil and gas condensate field development. The purpose of the paper is to characterize and compare the object of study with analogues in Central Yakutia with the subsequent identification of correlated features. Materials used for this work are: actual data of well testing and pilot operation of water supply wells in Srednebotuobinsky service groundwater deposit for 2015–2018; the results of electrical measurements over the area; and archive materials on the result of the objects-analogues studies in Central Yakutia. On the basis of the available actual data, a comparative analysis of permafrost, hydrogeological, hydrochemical, lithological, geomorphological, and environmental conditions was carried out regarding the formation of intrapermafrost waters in thermo-radiation taliks situated in 800 km from each other in Central and Western Yakutia. The objects are located at the same latitude (60°N). As a result of the comparative analysis, the high degree of resemblance of the mentioned conditions is revealed; they determine the similar hydrodynamics of the compared objects. Data of the comparative analysis can increase the efficiency of potential water supply sources identification in the course of exploration works.

Keywords: permafrost; radiation-thermal taliks; carbonate rocks; West Yakutia; Central Yakutia; correlation; water drive.

References

1. Anisimova N.P. *Formirovanie himicheskogo sostava podzemnykh vod talikov (na primere Central'noy Yakutii)* [The formation of the chemical composition of groundwater talik (for example, Central Yakutia)]. Moscow, Nauka Publ., 1971, 196 p.
2. Boycov A.V. *Usloviya formirovaniya i rezhim podzemnykh vod nadmerzlotnogo i mezhmerzlotnogo stoka v Central'noy Yakutii* [Formation conditions and groundwater regime of supra-permafrost and inter-permafrost runoff in Central Yakutia]. Diss. PhD. Yakutsk, 2002, 172 p.
3. Gasanov K.K. *Otchet o rezul'tatah rabot po kompleksnoy gidrogeologicheskoy i inzhenerno-geologicheskoy s#emke masshtaba 1:200 000 Taas-Yuryakhskogo mestorozhdeniya nefti i gaza na ploshhadi lista P-49-XXIV za 1986-1988 gg. (Jur'yakhskaya partiya). Botuobinskaya GRJe* [Report on the results of work on the complex hydrogeological and engineering-geological survey of 1: 200,000 scale at the Taas-Yuryakhsky oil and gas field on the area of the P-49-XXIV sheet for 1986-1988. (Yuryakh party). Botuobinskaya Exploration Expedition]. 1989, 132 p.
4. Dergachev V.D. *Tekhnicheskij otchet po poiskovo-ocenochnym rabotam na podzemnye vody na Srednebotuobinskom NGKM, vypolnennym v 2015–2016 gg.* [Technical report on the exploration and assessment of groundwater at Srednebotuobinsky OGKM, performed in 2015–2016]. ООО «АГЭ», 150 p.
5. Krasnovskij V.I. *Otchet o rezul'tatah kompleksnoy gidrogeologicheskoy i inzhenerno-geologicheskoy s#emki masshtaba 1:200000 na Nepsko-Botuobinskoy neftegazonosnoy ploshhadi (listy R-49-XXVIII, XXIX, XXXIV), provedennoy v 1988–1994 gg.* [Report on the results of a comprehensive hydrogeological and engineering-geological survey of 1: 200,000 scale in the Nepsko-Botuobinskaya oil and gas bearing area (sheets P-49-XXVIII, XXIX, XXXIV), conducted in 1988–1994]. Moscow, 1995, 110 p.
6. Tolstihin O.N. *Naledi i podzemnye vody Severo-Vostoka SSSR* [Naledi and groundwaters of the North-East of the USSR]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1974, 164 p.
7. Shepelev V.V. *O rezhime, balanse i osobennostyah pitaniya mezhmerzlotnykh vod peschanykh massivov Central'noy Yakutii* [About the regime, balance and nutritional habits of the inter-frozen waters of the sandy massifs of Central Yakutia]. *Geokriologicheskije i gidrogeologicheskije issledovaniya Yakutii* [Geocryological and hydrogeological studies of Yakutia], Yakutsk, 1978, 162 p.