

УДК 550.812.12

Р.Н. Гайнаншин¹, e-mail: gaynanshin.rn@gazpromneft-ntc.ru; **С.Ф. Хафизов²**, e-mail: khafizov@gubkin.ru;
В.Ю. Абрамов³, e-mail: geophy-rudn@mail.ru; **М.В. Сначев¹**, e-mail: snachev.mv@gazpromneft-ntc.ru;
Ш.Р. Исламов⁴, e-mail: islamov_shr@mail.ru

¹ ООО «Газпромнефть НТЦ» (Санкт-Петербург, Россия).

² Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет нефти и газа (Национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина» (Москва, Россия).

³ Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов» (Москва, Россия).

⁴ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» (Санкт-Петербург, Россия).

Оценка перспектив нефтегазоносности и выбор программы геологоразведочных работ на основе многовариантного геологического моделирования

В статье описан новый метод оценки неопределенностей и рисков при проведении геологоразведочных работ. Одной из его особенностей является расчет карты dSdt, в каждой точке которой отображается, на сколько уменьшится неопределенность в геологических ресурсах нефти при проведении поисково-разведочного бурения в конкретной области. Кроме того, в ходе работы, результаты которой представлены в статье, был создан алгоритм построения многовариантной геологической модели, учитывающей такие неопределенности, как положение структурной кровли пластов, мощности потенциально продуктивных пластов, уровни отметок водонефтяного и газонефтяного контактов, фильтрационно-емкостные свойства пород-коллекторов и физико-химические свойства флюидов. Применение предложенного метода позволяет построить карты плотности ресурсов, показывающие в каждой точке, с какой вероятностью, составляющей 10, 50 и 90 %, значение плотности ресурсов нефти будет соответствовать прогнозу.

Метод объединяет преимущества многовариантного геологического моделирования и статистического анализа, позволяя учесть как диапазоны геологических неопределенностей и их влияние на объемы ресурсов нефти и распределение по площади, так и результат анализа всех возможных геологических кейсов. Полученные данные дают возможность принять обоснованное решение при планировании геолого-разведочных работ, минимизировав при этом затраты на их проведение.

Разработанный метод, первоочередной целью которого являлся выбор положения первой поисковой скважины, был успешно применен при подготовке к бурению на Аяшской структуре (шельф Охотского моря).

Ключевые слова: многовариантное геологическое моделирование, оценка запасов нефти, статистический анализ, карта dSdt.

.....

R.N. Gainanshin¹, e-mail: gaynanshin.rn@gazpromneft-ntc.ru; **S.F. Khafizov²**, e-mail: khafizov@gubkin.ru;
V.Y. Abramov³, e-mail: geophy-rudn@mail.ru; **M.V. Snachev¹**, e-mail: snachev.mv@gazpromneft-ntc.ru;
Sh.R. Islamov⁴, e-mail: islamov_shr@mail.ru

¹ Gazpromneft Science & Technology Centre LLC (Saint Petersburg, Russia).

² Federal State Autonomous Educational Institution for Higher Education "Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University)" (Moscow, Russia).

³ Federal State Autonomous Educational Institution for Higher Education "RUDN University" (Moscow, Russia).

⁴ Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint-Petersburg Mining University" (Saint Petersburg, Russia).

Oil and Gas Perspective Assessment and the Choice of the Exploration Program based on the Multivariate Geological Modeling

The article describes a new method of uncertainty and risks estimate when conducting exploration operations. One of its peculiarities is estimation of the dSdt map every point of which is the reflection of an uncertainty decrease in geological oil resources while carrying out exploration drilling in a specific area.

Moreover, in the process of the study the data of which the article presents the algorithm of a multi-version geological model has been developed considering such uncertainties as position of structural seam roof, thickness of potentially productive formations, mark levels of water-oil and gas-oil interfaces, permeability-porosity properties of reservoirs and physical and chemical properties of fluids.

Application of the method proposed makes it possible to build up the density maps of resources by their every point indicating a probability of 10, 50 and 90 % with which a density value of oil resources will correspond to the predicted one. The method brings together advantages of multi-version geological modeling and statistical analysis enabling to take into account ranges of geological uncertainties and their effect on volume of oil resources and their areal distribution, as well as analysis data of all possible geological cases. The data obtained allow for a justified decision to be taken when planning exploration activities, with associated expenses being reduced to minimum. The method developed with its primary objective being selection of the first prospect well location, was successfully applied during drilling preparation activities in Ayashskaya structure (shelf of the sea of Okhotsk).

Keywords: multivariate reservoir modeling, oil in place estimation, statistical analysis, dSdt map.

В условиях бурения на шельфе особое значение приобретает выбор оптимального расположения поисково-разведочной скважины: для реализации дорогостоящего проекта жизненно важно максимально сократить диапазон неопределенностей с помощью бурения минимального количества скважин. К числу наиболее активно развивающихся методов, позволяющих рассчитать большое количество возможных исходов бурения, провести всесторонний анализ полученных результатов и оптимизировать положение скважины в зависимости от поставленных задач, относится статистический анализ многовариантной геологической модели с варьированием ключевых геологических неопределенностей на основе распределения фактически наблюдаемых значений, или так называемых выборочных распределений.

Авторы статьи предлагают новый метод оценки неопределенностей и рисков при проведении геологоразведочных работ (ГРП), одной из особенностей которого является расчет карты dSdt, в каждой точке которой отображается, на сколько уменьшится неопределенность геологических ресурсов нефти при проведении поисково-разведочного бурения (ПРБ) в выбранной области. Предложенный метод был применен при подготовке к бурению на Аяшской структуре в целях выбора положения

первой поисковой скважины. Летом 2017 г. на Аяшском лицензионном участке, на шельфе Охотского моря северо-восточнее о-ва Сахалин, первой поисковой скважиной было открыто месторождение Нептун. Месторождение расположено на территории Северо-Сахалинской нефтегазоносной области (НГО), самой перспективной в регионе: на территории области открыто более 60 месторождений углеводородов, выявлено более 180 ловушек. Геодинамическая эволюция региона и наиболее перспективные с точки зрения нефтегазоносности горизонты Северо-Сахалинской НГО подробно рассмотрены в работе [1–2]. Стоит отметить, что изучение и разработка залежей на территории шельфа о-ва Сахалин сопряжены с множеством неопределенностей и рисков, таких как сильное волнение моря, сейсмическая активность в течение всего года, суровые погодные условия и удаленность от ключевых узлов нефтегазовой инфраструктуры. Кроме того, прибрежную территорию Охотского моря до 7 мес в году покрывают паковые льды, что сильно ограничивает сезон проведения работ. Все это необходимо учитывать при составлении оптимальной дорожной карты изучения и освоения Аяшского лицензионного участка. В ходе работы, результаты которой представлены в данной статье, был

создан алгоритм для построения многовариантной геологической модели, учитывающей такие неопределенности, как:

- положение структурной кровли пластов;
- мощности потенциально продуктивных пластов;
- уровни отметок водонефтяного и газонефтяного контактов;
- фильтрационно-емкостные свойства (ФЕС) пород-коллекторов;
- физико-химические свойства (ФХС) флюидов.

ПОЛОЖЕНИЕ СТРУКТУРНОЙ КРОВЛИ ПЛАСТОВ

Для учета неопределенности положения кровли пласта (рис. 1а) на крыльях складки была построена карта среднеквадратического отклонения (рис. 1б), показывающая, на сколько при имеющемся уровне геолого-геофизической изученности возможно отклонение относительно прогноза – фактически это возможный диапазон ошибки при пересчете временных поверхностей в глубину при фиксированном положении купольной части структуры. Накопленная статистика отклонений факта от плана на аналогичных структурах при наличии 3D-сеймики находится в диапазоне от –30 до 30 м. Соответствующие отклонения были заложены на уровне

Ссылка для цитирования (for citation):

Гайнаншин Р.Н., Хафизов С.Ф., Абрамов В.Ю., Сначев М.В., Исламов Ш.Р. Оценка перспектив нефтегазоносности и выбор программы геологоразведочных работ на основе многовариантного геологического моделирования // Территория «НЕФТЕГАЗ». 2019. № 3. С. 12–16.
Gainanshin R.N., Khafizov S.F., Abramov V.Y., Snachev M.V., Islamov Sh.R. Oil and Gas Perspective Assessment and the Choice of the Exploration Program based on the Multivariate Geological Modeling. Territorija "NEFTEGAS" = Oil and Gas Territory, 2019, No. 3, P. 12–16. (In Russian)

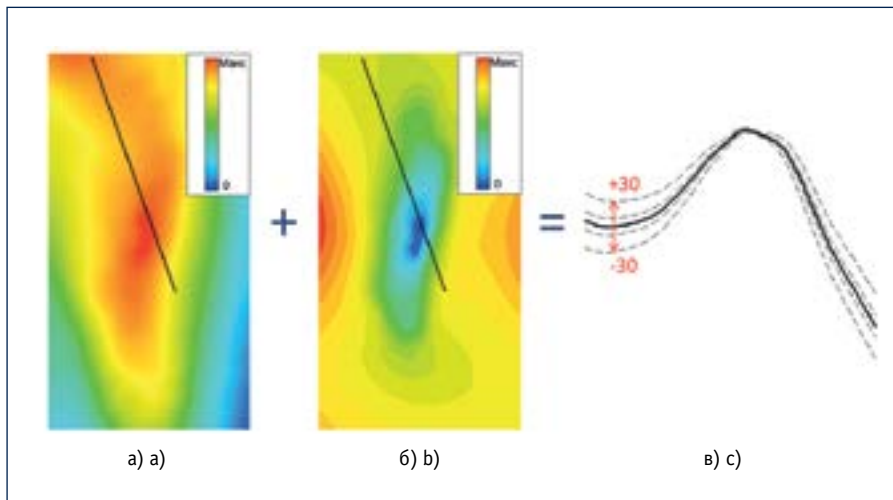


Рис. 1. Фактор неопределенности поведения кровли структуры:
 а) положение кровли пласта; б) карта среднеквадратического отклонения
 на уровне самой глубокой замыкающей изогипсы
 Fig. 1. An uncertainty factor of structure superface of stratum behavior:
 а) position of the superface of stratum; б) map of rms deviation
 on the level of the deepest enclosing isohypsum

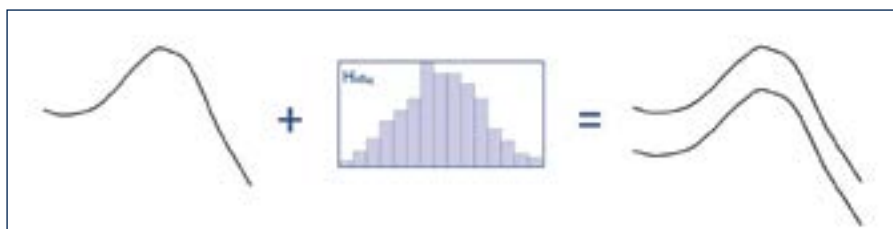


Рис. 2. Метод получения структурной карты подошвы пласта
 Fig. 2. The method of building up a structural map of subsurface of stratum

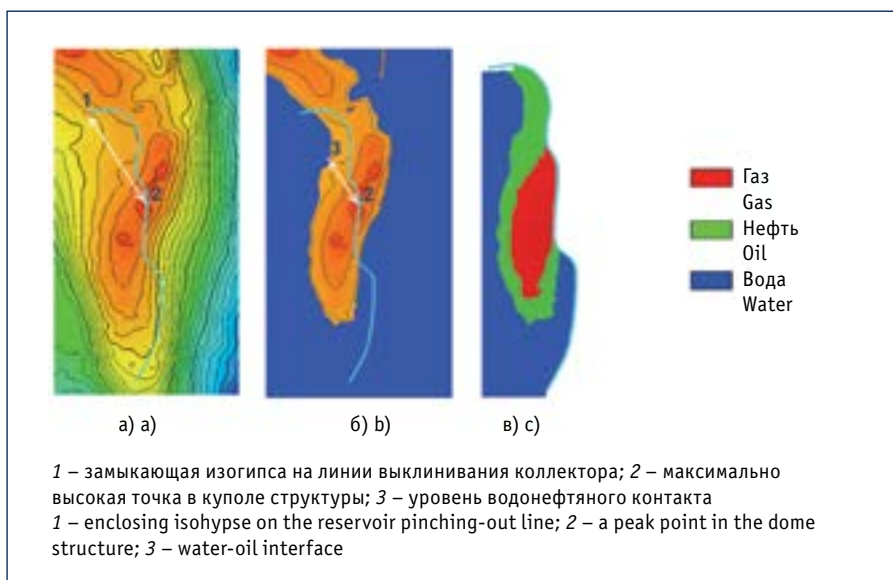


Рис. 3. Алгоритм выбора отметок водонефтяного и газонефтяного контактов:
 а) выбор уровня ВНК; б) выбор уровня ГНК; в) определение зон насыщения
 Fig. 3. Algorithm of mark selection for oil-water and gas-oil contacts:
 а) the choice of the level of the oil-water contact; б) the choice of the level of the gas-oil contact;
 в) determination of saturation areas

самой глубокой замыкающей изогипсы Аяшской структуры (рис. 1в).

МОЩНОСТИ ПОТЕНЦИАЛЬНО ПРОДУКТИВНЫХ ПЛАСТОВ

После варьирования структурных карт кровли пластов путем прибавления к ним значений общих толщин были получены структурные карты их подошвы (рис. 2). Для каждой реализации расчета общих толщин моделируемых пластов значения выбираются согласно соответствующим распределениям, полученным по результатам анализа общих мощностей пластов месторождений-аналогов.

УРОВНИ ОТМЕТОК ВОДОНЕФТЯНОГО И ГАЗОНЕФТЯНОГО КОНТАКТОВ

В каждой версии расчета уровень водонефтяного контакта (ВНК) выбирается случайным образом из интервала от отметки последней замыкающей (гипсометрически самой глубокой) изогипсы на линии выклинивания коллекторов 1 до максимально высокой точки в куполе структуры 2 (рис. 3а). Далее выбирается случайным образом уровень газонефтяного контакта (ГНК) из интервала от выбранного уровня ВНК 3 до максимально высокой точки в куполе структуры 2 (рис. 3б). На этом этапе залежи делят на зоны насыщения (рис. 3в) для последующего построения карт нефте- и газонасыщенных толщин.

ФИЛЬТРАЦИОННО-ЕМКОСТНЫЕ СВОЙСТВА ПОРОД-КОЛЛЕКТОРОВ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ФЛЮИДОВ

При моделировании каждая версия полученных карт нефте- и газонасыщенных толщин рассчитывалась с учетом значений песчаности, ФЕС пород и ФХС флюидов из соответствующего распределения для каждого пласта, полученных по результатам анализа месторождений-аналогов.

Результатом геологического моделирования были распределение начальных геологических ресурсов нефти по пластам и всему потенциальному месторождению, а также карты плотности ресурсов нефти.

На основе анализа и статистической обработки множества реализаций карт

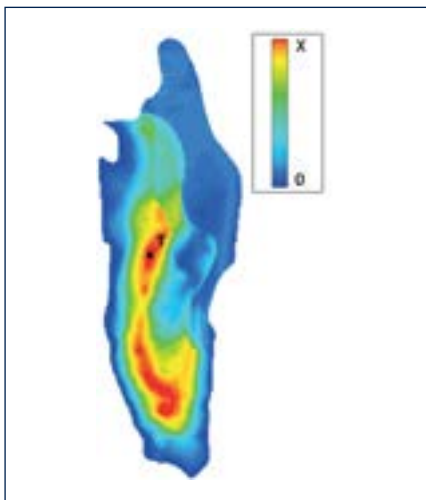


Рис. 4. Карта dSdt до получения геолого-геофизической информации со скважины № 1 Аяшская. Бурение скважины в месте, обозначенном точкой Т, сократит неопределенность в ресурсах нефти на X %, где $X < 100$

Fig. 4. The dSdt map prior to geological-geophysical information from the No. 1 Ayashskaya well. Drilling of a well in the area indicated as T point will reduce oil resources uncertainty by X %, where $X < 100$

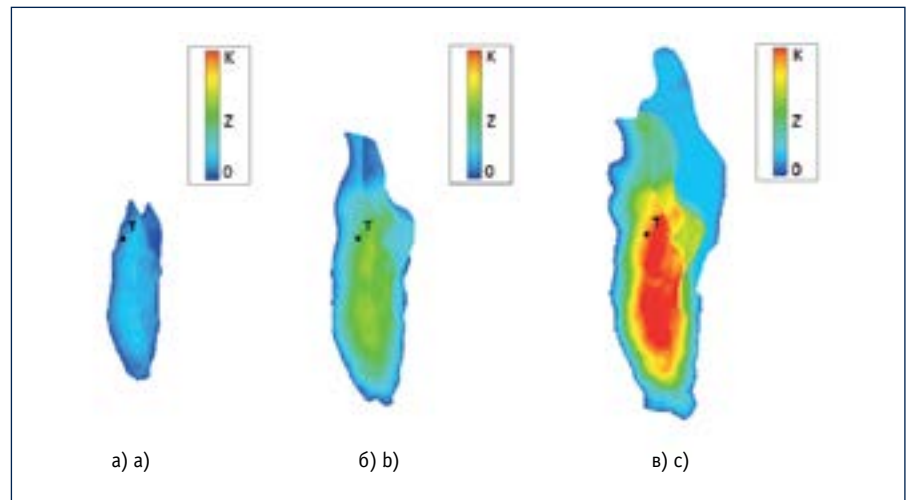


Рис. 5. Варианты интегральных карт плотности ресурсов нефти для рассматриваемых пластов месторождения Нептун: а) P90; б) P50 и в) P10. В точке Т плотность ресурсов нефти составит Z тыс. т/га с вероятностью, соответственно, 90, 50 и 10 %

Fig. 5. Alternative integral maps of oil resources density for the Neptun field reservoirs under consideration: a) P90; b) P50 and c) P10. At the point T oil resources density will amount Z thsd.t/ha with a probability of 90, 50 and 10 %, respectively.

плотности ресурсов нефти получены два типа карт:

- карта dSdt, показывающая в каждой точке, на сколько уменьшится неопре-

деленность геологических ресурсов нефти;

- карты P10, P50, P90 плотности ресурсов, показывающие в каждой точке,

Уважаемые коллеги!

От имени Федерального агентства по недропользованию поздравляю вас с профессиональным праздником – Днем геолога.

Сегодня ваш труд закладывает основы успешной деятельности отраслей, служащих надежной опорой экономики России. Геологическая отрасль имеет огромный творческий и интеллектуальный потенциал, выступает одной из наиболее наукоемких сфер с высокой концентрацией передовых технологий. Профессия геолога сочетает в себе каждодневный напряженный труд и романтику, требует глубоких теоретических знаний и беззаветной преданности делу.

Уверен, что и в дальнейшем ваша работа и компетентность будут определять развитие экономики, способствовать росту промышленного производства, повышению качества жизни людей.

Примите искренние слова признательности за ваш самоотверженный труд. Пусть вас никогда не покидает вера в успех, а жизненная энергия дает силы для новых открытий.

Крепкого вам здоровья, благополучия и всего самого доброго!



с какой вероятностью, составляющей, соответственно, 10, 50 и 90 %, значение плотности ресурсов нефти будет соответствовать прогнозу.

Это дало возможность рассмотреть различные положения первой поисковой скважины на структуре и минимизировать риски, связанные с реализацией неуспешных сценариев. На рис. 4–5 представлены интегральные карты dSdt и плотностей ресурсов всех пластов месторождения для их совместного анализа.

На рис. 6 представлена диаграмма, отражающая результаты расчетов корреляции плотности ресурсов нефти в точке скважины № 1 Аяшская с плотностью, вероятной при бурении поисково-оценочной скважины в точке Т. Рис. 4–6 были приведены в качестве примера: после успешного поисково-разведочного бурения скважины № 1 Аяшская было снято множество неопределенностей и геологическая картина изменилась.

ВЫВОДЫ

В рамках проведенной работы упор был сделан на минимизацию неопределенности в начальных запасах нефти, что является одной из важнейших задач на текущей стадии изучения и разработки Северо-Сахалинской НГО. Для макси-

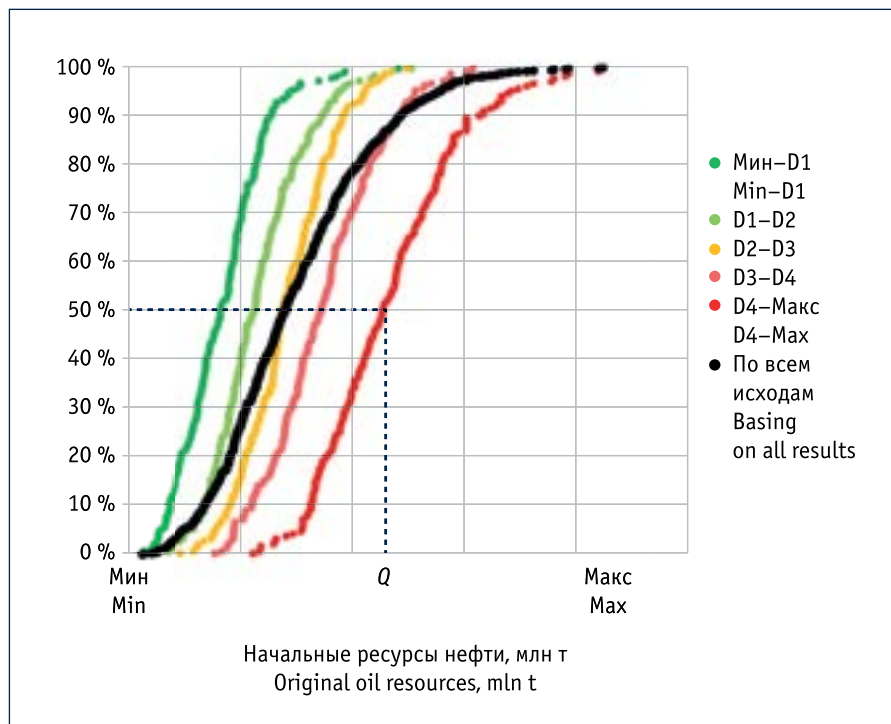


Рис. 6. Варианты функций распределения ресурсов нефти в зависимости от фактической плотности ресурсов в точке скважины № 1 Аяшская. Если в точке Т значение плотности ресурсов нефти будет находиться в диапазоне от D4 до максимума, тыс. т/га, значение объема ресурсов нефти с вероятностью 50 % будет составлять Q млн т

Fig. 6. Versions of oil resources distribution functions depending on actual resources density at the point of No. 1 Alyashskaya well. If an oil resources density value is in the range from D4 to maximum (thsd.t/ha), a value of oil resources volume with the probability of 50 % will equal Q mln t

мально эффективного решения этой задачи были применены многовариантное геологическое моделирование и статистический анализ. Выбор многовариантного геологического моделирования в качестве метода решения поставленной задачи обусловлен его высокой эффективностью при проведении ресурсной оценки. Метод позволяет учесть диапазоны геологических неопределенностей, а также оценить их влияние на объемы ресурсов

нефти и распределение по площади. Статистический анализ результатов моделирования дает возможность быстро и в полной мере проанализировать все возможные геологические кейсы. Таким образом, комбинация методов позволяет принять оптимальные решения при планировании геолого-разведочных работ, не только сократив диапазон геологических неопределенностей, но и минимизировав затраты на проведение поисково-разведочных работ.

Литература:

1. Гайнаншин Р.Н., Логвиненко Н.В., Жуковская Е.А. и др. Шельф о. Сахалин – новые горизонты // Нефтяное хозяйство. 2018. № 12. С. 22–24.
2. Выбор точки бурения поисково-оценочной скважины № 1 Баутинская на основе актуализации сейсмогеологической модели в пределах Аяшского участка недр по результатам бурения поисково-оценочной скважины № 1 Аяшская. СПб.: ООО «Газпромнефть-Сахалин», 2017. 48 с.

References:

1. Gainanshin R.N., Logvinenko N.V., Zhukovskaya E.N., et al. The Sakhalin Offshore – new Horizons. Neftyanoe khozyaistvo = Oil Industry, 2018, No. 12, P. 22–24. (In Russian)
2. Selection of a Drilling Point for Exploration-Development Well No. 1 Bautinskaya by Up-Dating of a Seismogeological Model within the Ayashskaya Subsoil Area basing on Drilling Data of No. 1 Ayashskaya Exploration-Development Well. Saint Petersburg, Gazpromneft-Sakhalin LLC, 2017, 48 p. (In Russian)