

*Н. И. Яндола<sup>1,2\*</sup>, А. В. Черных<sup>1</sup>, Ф. Ф. Дульцев<sup>1</sup>*

## **Геотермический режим недр нефтегазоносных отложений Виллюйской синеклизы**

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

<sup>2</sup> Новосибирский национальный исследовательский университет,  
г. Новосибирск, Российская Федерация

\*e-mail: n.yandola@g.nsu.ru

**Аннотация.** В настоящей работе приведены данные по геотермическому режиму недр Виллюйской синеклизы. Важнейшими природными особенностями района исследования являются присутствие крепких рассолов, развитие мощных толщ многолетнемерзлых пород (ММП), а также наличие древнейших рифей-раннекембрийских нефтегазоносных комплексов. Все эти особенности обуславливают проблемы, связанные с оценкой нефтегазоносных комплексов и геотермического режима, в частности. Мощность многолетнемерзлых пород в районе исследования закономерно возрастает от 100 м в долине реки Лена до 1100 м в районе площади Эйикская в зоне сочленения Виллюйской синеклизы и Анабарской антеклизы. Значения геотермического градиента на исследуемой территории изменяются от 1,58 °C/100м до 2,72 °C/100м. Установлено наличие двух геотермических зон, которые вместе со структурным планом контролируют распределение пластовых температур в пределах осадочного чехла. Первая зона приурочена к южной, северо-западной и северо-восточной частям синеклизы на Синской, Мархино-Андоиской, Эйикской и Усть-Виллюйской площадях. Вторая зона распространена на большей части изучаемой территории, в юго-западной, юго-восточной, центральной и северной ее частях.

**Ключевые слова:** пластовые температуры, геотермический градиент, многолетнемерзлые породы, Виллюйская синеклиза, Сибирская платформа

*N. I. Yandola<sup>1,2\*</sup>, A. V. Chernykh<sup>1</sup>, F. F. Dulstev<sup>1</sup>*

## **Geothermal regime of subsurface oil-and-gas-bearing deposits of the Vilyui synecise**

<sup>1</sup> Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS,  
Novosibirsk, Russian Federation

<sup>2</sup> Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russian Federation

\*e-mail: n.yandola@g.nsu.ru

**Abstract.** This paper presents data on the geothermal regime of the subsoil of the Vilyui synecise. The most important natural features of the study area are the presence of strong brines, the development of thick strata of perennially frozen rocks, as well as the presence of the oldest Riphean- Early Cambrian oil-and-gas bearing complexes. All these features cause problems associated with the evaluation of oil-and-gas bearing complexes and the geothermal regime, in particular. The thickness of permafrost in the study area increases from 100 m in the Lena River valley to 1100 m near the Eyikskaya area at the junction of the Vilyui synecise and the Anabar antecise. The values of the geothermal gradient in the study area vary from 1.58 °C/100m to 2.72 °C/100m. The presence of two geothermal zones, which, together with the structural plan, control the distribution of formation temper-

atures within the sedimentary cover, has been established. The first zone is confined to the southern, northwestern, and northeastern parts of the syncline in the Sinskaya, Markhino-Andoyskaya, Eyikskaya, and Ust'-Vilyui areas. The second zone is distributed over most of the study area, in its southwestern, southeastern, central, and northern parts.

**Keywords:** reservoir temperatures, geothermal gradient; permafrost; Vilyui syncline; Siberian platform

### *Введение*

Геотермические условия недр являются одним из основных факторов, определяющих течение процессов преобразования ОБ, газо- и нефтеобразования, формирования и сохранения залежей УВ, контролирующих растворимость УВ в воде, фазовые переходы в углеводородных системах и т.п. Многие месторождения сосредоточены как в толще многолетнемерзлых пород, так и ниже ее, что обуславливает необходимость изучения этой толщи и связанных с ней водоносных горизонтов. Геотермические условия Вилуйской синеклизы и сопредельных территорий в различное время рассматривались многими учеными Института мерзлотоведения СО РАН, СНИИГГиМС, ИНГГ СО РАН и др. [1-6].

Актуальность исследований заключается в возможности реализации нефтегазоносного потенциала территории при корректном подходе к процессу поисково-разведочных работ на исследуемой площади. В настоящей работе собраны воедино имеющиеся актуальные данные по геотермии водоносных горизонтов, построены карты толщин многолетнемерзлых пород и современных пластовых температур.

### *Материалы и методы*

В рамках работы были собраны и проанализированы материалы по геотермическим условиям осадочного чехла в пределах Вилуйской синеклизы (разрез представлен отложениями кембрия, карбона, перми и мезозоя). Фактический материал включает в себя результаты испытаний 68 скважин 21 разведочной площади (термометрия скважин, 308 точечных замеров пластовых температур и, замеры глубины нулевой изотермы в более чем 100 скважинах), а также структурные карты осадочного чехла в пределах территории исследования, составленные в ИНГГ СО РАН.

### *Результаты и обсуждение*

Наличие криолитозоны, уникальной как по мощности, так и по площади распространения, является одной из самых важных черт Сибирской платформы, отличающих её от остальных платформенных регионов мира (рис.1). Большая часть территории Вилуйской синеклизы расположена в Вилуйской провинции со сплошным распространением многолетнемерзлых пород, чей возраст составляет 1,5-2,0 млн. лет [7].

Мощность многолетнемерзлых пород на территории исследования закономерно возрастает с северо-востока в северо- и юго-восточном направлениях от 100 м в долине реки Лена, где установлен сквозной талик [8], до более чем 1100

м на северо-востоке в районе Эйикской площади (зона сочленения Вилюйской синеклизы и Анабарской антеклизы). Помимо Лены, несквозные талики установлены в долинах рек Буотамы, Вилюя, Линде и под большинством озер (рис. 2).

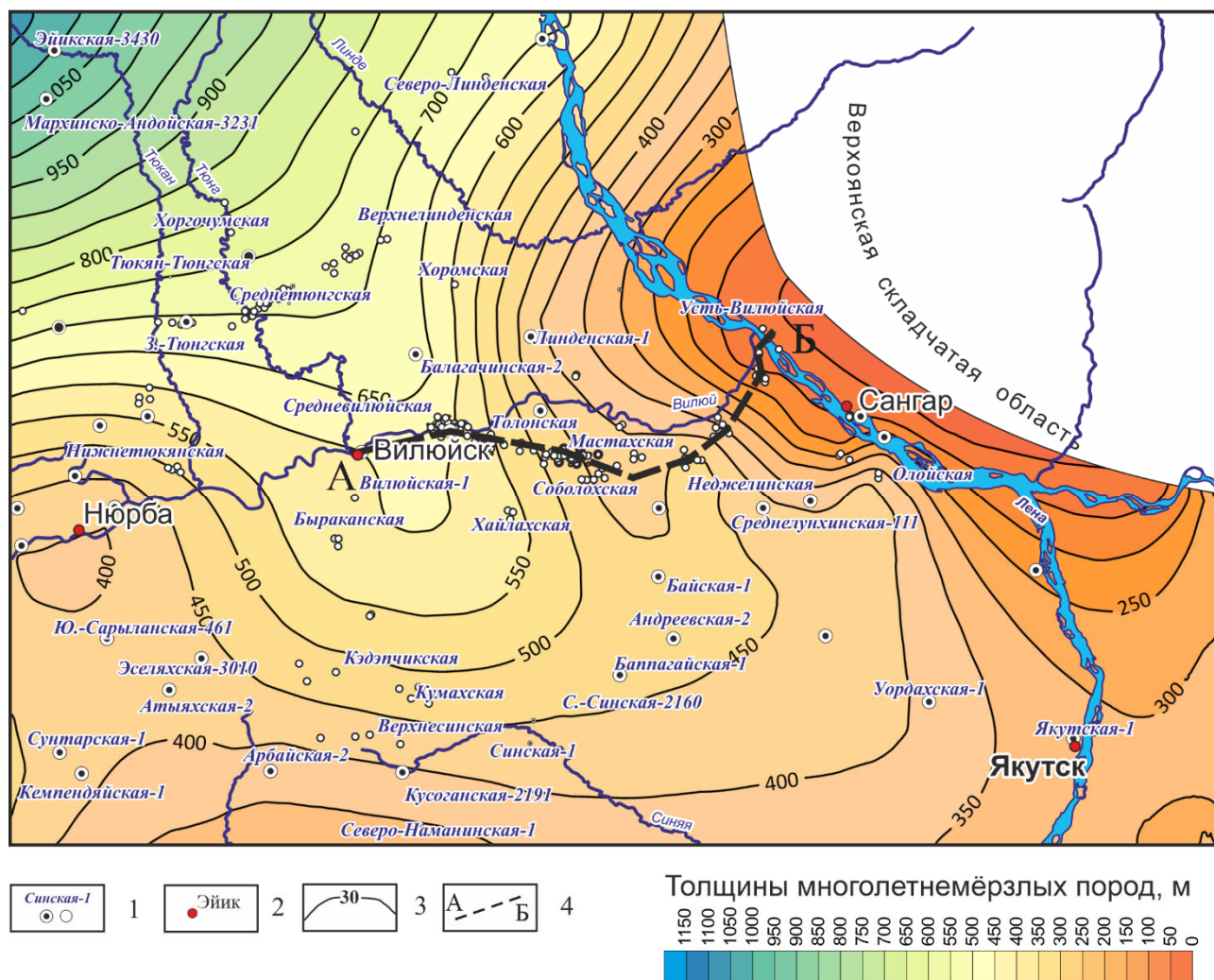


Рис. 1. Карта толщин многолетнемерзлых пород Вилюйской синеклизы, °С  
 1 – Название площади, номер скважины; 2 – населенные пункты; 3 – изогипсы, м; 4 – линия мерзлотно-геотермического разреза.

Анализ имеющихся данных позволил выявить характер вертикальной геотермической зональности, осложненный двумя типами разреза (рис. 3). Первый тип зональности (I) характеризуется низкими геотермическими градиентами (0,49-1,40°C/100 м) и выявлен на южной, северо-западной и северо-восточной окраинах синеклизы. Второй тип (II) развит на большей части исследуемого региона и характеризуется более высокими значениями средних градиентов, превышающих 2°C/100 м.

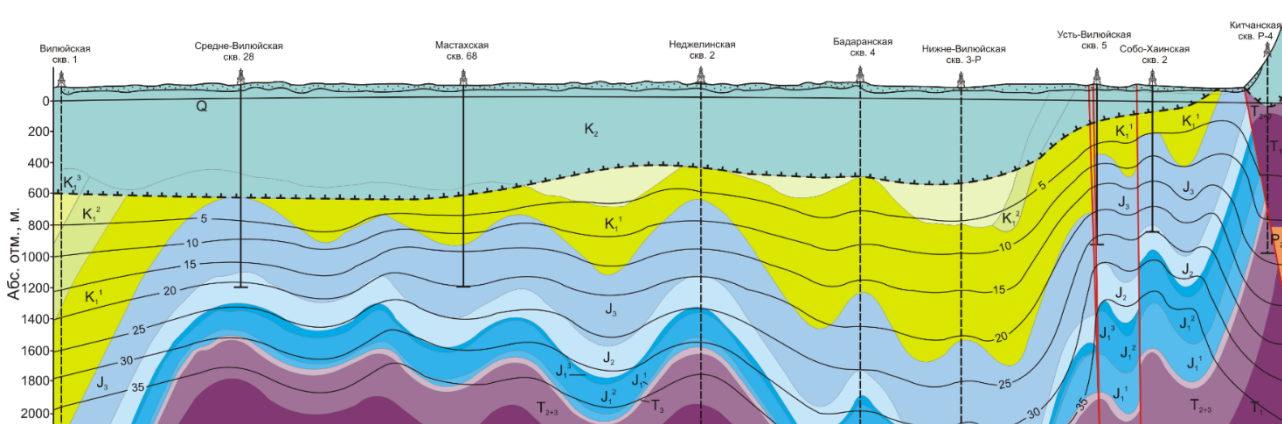


Рис. 2. Мерзлотно-геотермический разрез по линии скважин Вилуйская-1 – Китчанская-4 (по [8] с изменениями).

Подобный характер вертикальной зональности связан как со значительным влиянием многолетней мерзлоты в прибортовых частях Вилуйской синеклизы, так и влиянием дизъюнктивной тектоники (юго-восточная и юго-западная части).

Увеличение интенсивности глубинного теплового потока, наличие тектонических нарушений, литологический состав пород, геологическое строение, гидрогеологические особенности и принадлежность к крупным структурно-тектоническим элементам – все эти факторы оказывают непосредственное влияние на пластовые температуры.

Опираясь на структурные построения, выполненные в Институте нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, с использованием программного пакета Golden Software Surfer были созданы модели распределения пластовых температур по следующим нефтегазоносным комплексам (НГК): 1) кровля нижнего кембрия, 2) кровля кембрия, 3) подошва карбона, 4) подошва перми, 5) подошва мезозоя.

Из всех изученных комплексов пород, наиболее глубокие интервалы рассмотрены на примере Хоромской, Линденской и Балаганчинской и др. площадей, где зафиксированы максимальные пластовые температуры всех изученных стратиграфических интервалов на территории исследования. В целом, наблюдается увеличение пластовых температур пород с севера, юго-запада и юго-востока к центральной части синеклизы.

На тепловой режим кембрийских пород (рис. 4) большую роль оказывает дизъюнктивная тектоника, что проявляется в повышении значений современных пластовых температур на юго-востоке района исследований (более чем 180-190°C). Максимальные температуры по скважинным данным составляют 51,1 °C на Кумахской площади.

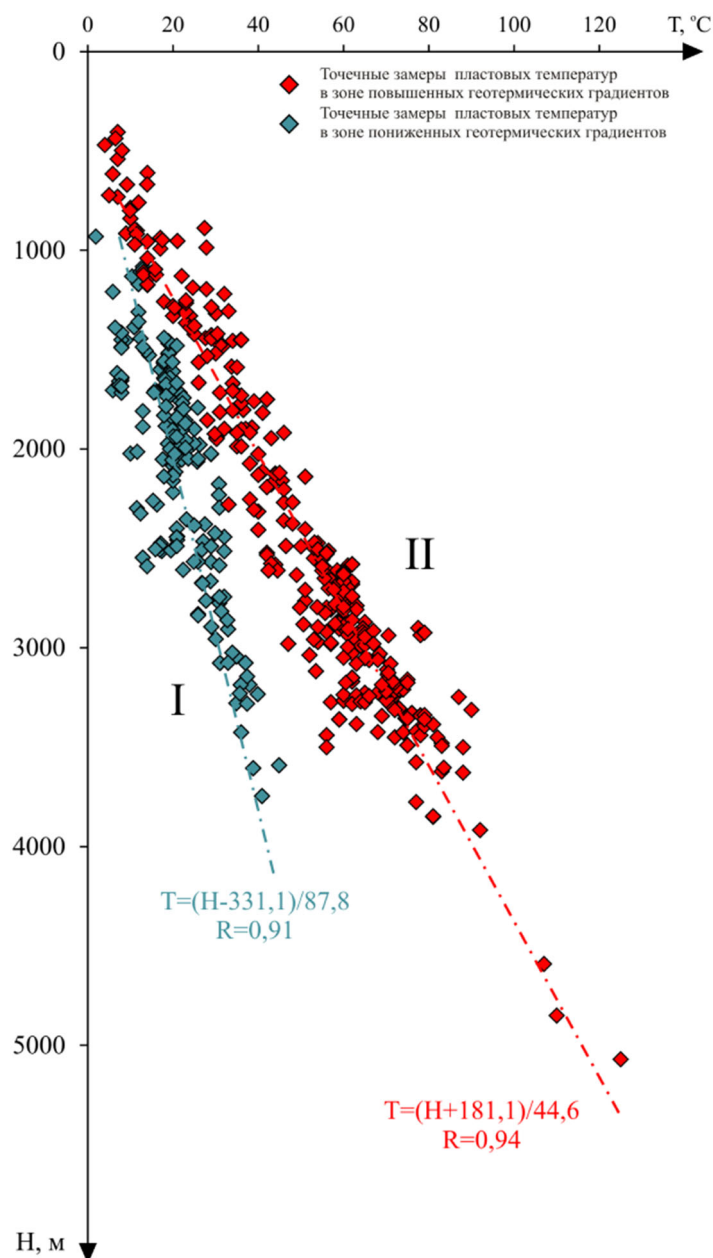


Рис. 3. Геотермическая зональность Вилюйской синеклизы.

Согласно районированию территории исследования [9] и полученным данным, в краевых частях синеклизы наблюдаются минимальные толщины осадочного чехла (приблизительно 3200 м), вместе с этим значительно влияние многолетнемерзлых пород на современное геотемпературное поле, что отражается в низких пластовых температурах всех изученных интервалов.

Отложения мезозоя (рис. 5) полностью заморожены в бортовых частях территории исследования, что выражается в минимальных пластовых температурах (0 – 10°C). Максимальные температуры наблюдаются в центральных районах и не превышают 130 °C. Зафиксированные пластовые температуры изменяются от 17°C (Мастахская-52-Э) до 90°C (Неджелинская-26)

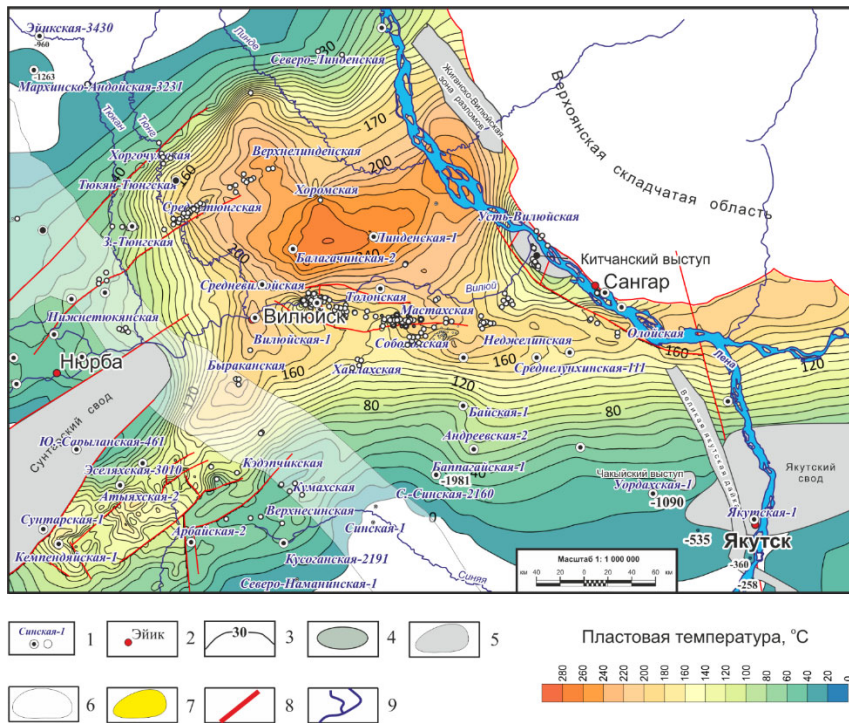


Рис. 4. Карта пластовых температур в кровле нижнего кембрия, °С.  
 1 – скважины; 2 – населенные пункты; 3- изотермы, °С; 4 – зона развития многолетнемерзлых пород, 5 – зоны отсутствия платформенных отложений кембрия; 6 – зона развития кембрийского барьерного рифа; 7 – зоны выходов на дневную поверхность отложений девона, карбона и перми; 8 – разломы; 9 – гидросеть.

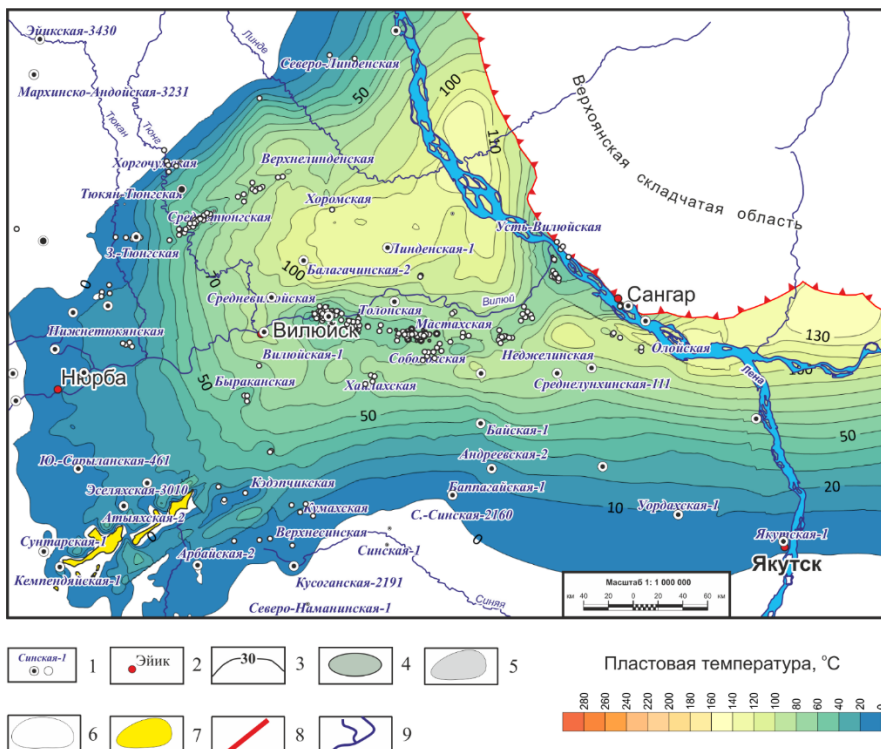


Рис. 5. Карта пластовых температур в подошве мезозоя, °С  
 Условные обозначения см. рис. 4.

## ***Заключение***

Мощность многолетнемерзлых пород в районе исследования закономерно возрастает от 100 м на северо-западе в долине реки Лена, где развит сквозной талик, до более чем 1100 м на северо-востоке в зоне сочленения Вилюйской синеклизы с Анабарской антеклизой. Мощность ММП в центральных районах Вилюйской синеклизы не превышает 650 м.

Значения геотермического градиента на исследуемой территории изменяются от 1,6 °С/100 м в верхнекембрийском стратиграфическом интервале до 3,4 °С/100 м в триас-нижнеюрском и связаны с различной теплопроводностью слагающих их пород (кембрийские карбонаты обладают меньшей теплопроводностью, чем триас-нижнеюрские терригенные осадки). Низкие значения градиента наблюдаются на юге, северо-западе и северо-востоке. Высокие значения установлены в центральной части синеклизы, вдали от прибортовых частей, что связано как с влиянием толщи многолетнемерзлых пород, так и дизъюнктивной тектоники. В среднем, значение геотермического градиента на территории Вилюйской синеклизы составляет примерно 2,13 °С/100 м.

Установлен рост температур пород с севера, юго-запада и юго-востока к центральной части синеклизы во всех изученных стратиграфических интервалах, что обусловлено значительной толщиной осадочного чехла (более 6,5 км). Минимальные пластовые температуры установлены в прибортовых частях синеклизы, ввиду значительного влияния криогенной толщи и минимальных мощностей чехла (примерно 3200 м).

Полученные результаты указывают на сложную структуру геотермического поля района исследований, которое определяется величиной глубинных тепловых потоков, значениями геотермических градиентов и структурным планом, на который, в том числе, оказало влияние интенсивное развитие криогенных процессов в последние 1,5–2,0 млн лет.

## ***Благодарности***

Исследование выполнено при финансовой поддержке проекта Министерства науки и высшего образования РФ № FWZZ-2022-0014.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Вожов В.И., Сурнин А.И. Закономерности распространения многолетнемерзлых пород на Сибирской платформе. – Труды СНИИГГиМСа, 1982. – С. 5-16.
2. Геология СССР. Т. XVIII, западная часть Якутской АССР. Ч. 1. Геологическое описание. Кн. 2. – М.: Недра, 1970. – 256 с.
3. Новиков Д.А. Геотермические особенности западной части Енисей-Хатангского регионального прогиба. // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2019. – № 2 (134) – С. 28-36.
4. Новиков Д.А., Кох А.А. Геотермическая модель юго-западной части Курейской синеклизы в связи с нефтегазоносностью // Геология нефти и газа. – 2014. – № 1. – С. 110–117.
5. Новиков Д.А., Хилько В.А., Черных А.В., Дульцев Ф.Ф., Юрчик И.И. Геотермический режим вендских отложений Сибирской платформы. // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России: Материалы IX Всероссийской научно-практической конфе-

ренции (г. Якутск, 10-12 апреля 2019 г.): В 2-х т. – Якутск: Издательский дом СВФУ, 2019. – Т. 1 – С. 241-245.

6. Новиков Д.А., Черных А.В., Дульцев Ф.Ф., Хилько В.А., Юрчик И.И. Геотермический режим недр Виллюйской синеклизы // Теплофизика и энергетика арктических и субарктических территорий: Расширенные тезисы докладов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвящ. 80-летию со дня рождения д.т.н. Рева И.Г. (г. Якутск, Россия, 24-27 июня 2019 г.). – Якутск: Изд-во ФГБУН Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, 2019. – С. 371-377.

7. Теплофизика и энергетика арктических и субарктических территорий: расширенные тезисы докладов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 80-летию со дня рождения д.т.н. Рева Ивановича Гаврильева, г. Якутск (Россия), 24–27 июня 2019 г. /ФГБУН Ин-т мерзлотоведения им. П. И. Мельникова Сибирского отделения РАН; отв. ред. М. Н. Железняк; [ред. коллегия: А. М. Тимофеев, А. В. Малышев, П. Ф. Васильев, В. Н. Ефремов]. – Якутск: Изд-во ФГБУН Институт мерзлотоведения им. П. И. Мельникова СО РАН, 2019. – 410 с.

8. Семенов, В.П., Железняк, М.Н. Геотермические условия Виллюйской синеклизы / В.П. Семенов, М.Н. Железняк // Криосфера Земли. – 2013. – № 4. – С. 3-10.

9. Мерзлотно-ландшафтная карта Республики Саха (Якутия). Масштаб 1: 1 500 000 / Федоров А.Н., Торговкин Я.И., Шестакова А.А., Васильев Н.Ф., Макаров В.С. и др.; гл. ред. М.Н. Железняк – Якутск: ИМЗ СО РАН, 2018. – 2 л. Фонды ИМЗ.

© Н. И. Яндола, А. В. Черных, Ф. Ф. Дульцев, 2023