# ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

ОСНОВАН В 2004 г. ВЫХОДИТ 4 РАЗА В ГОД

# ОКТЯБРЬ № 4 2018 ДЕКАБРЬ

#### УЧРЕДИТЕЛИ ЖУРНАЛА

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН

#### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

#### Главный редактор

академик РАН М.И. Эпов

#### Ответственный секретарь

канд. физ.-мат. наук А.А. Дучков

#### Члены редколлегии:

д-р физ.-мат. наук Ю.П. Ампилов, д-р физ.-мат. наук И.О. Баюк, д-р физ.-мат. наук М.Л. Владов, д-р геол.-мин. наук А.Ф. Глебов, д-р физ.-мат. наук В.Н. Глинских, д-р техн. наук Г.Н. Гогоненков, д-р физ.-мат. наук М.С. Денисов, д-р техн. наук И.Н. Ельцов, д-р техн. наук А.Ф. Еманов, д-р техн. наук А.П. Жуков, д-р техн. наук Ю.И. Колесников, чл.-к. РАН, д-р геол.-мин. наук В.А. Конторович, чл.-к. РАН, д-р геол.- мин. наук Ю.И. Кулаков, д-р техн. наук Э.Е. Лукьянов, чл.-к. РАН, д-р физ.-мат. наук П.С. Мартышко, д-р физ.-мат. наук Г.М. Митрофанов, чл.-к. РАН, д-р физ.-мат. наук И.Б. Петров, д-р геол.-мин. наук Е.В. Поспеева, д-р геол.-мин. наук В.С. Селезнев, д-р геол.-мин. наук В.Д. Суворов, д-р техн. наук А.П. Сысоев, д-р техн. наук Г.М. Тригубович, д-р физ.-мат. наук В.А. Чеверда, д-р техн. наук М.Б. Шнеерсон, д-р техн. наук Г.А. Шехтман

> Адрес редакции: 630090, Новосибирск, просп. Академика Коптюга, 3 тел. 8(383) 363-67-14

# ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

#### СОДЕРЖАНИЕ

Кучай О.А., Дядьков П.Г. Оценка характера тектонического смещения в зонах разломов	
Алтая по данным о механизмах очагов землетрясений	4
Конторович В.А., Аюнова Д.В., Гусева С.М., Калинина Л.М., Калинин А.Ю.,	
Канаков М.С., Соловьев М.В., Сурикова Е.С., Торопова Т.Н. Сейсмогеологическая	
характеристика осадочных комплексов и нефтегазоносность Ямальской,	
Гыданской и Южно-карской нефтегазоносных областей (Арктические регионы	
Западной Сибири, шельф Карского моря)	10
Ян П.А., Хабаров Е.М. Интерпретация данных ГИС при палеогеографических	
реконструкциях (на примере бат-верхнеюрских отложений юга Западной Сибири)	27
Оленченко В.В., Картозия А.А., Цибизов Л.В., Осипова П.С., Есин Е.И. Геоэлектрическая	
характеристика побережья острова Самойловский (дельта реки Лена)	39
Алфавитный указатель авторов статей, опубликованных в журнале в 2018 г	50

# **RUSSIAN JOURNAL OF GEOPHYSICAL TECHNOLOGIES**

Founded in 2004	Quarterly	No 4	Oc

#### CONTENTS

Kuchay O.A., Dyadkov P.G. Evaluation of the tectonic displacements in fault zones of the Altai,	
according to the earthquake focal mechanisms	4
Kontorovich V.A., Ayunova D.V., Guseva S.M., Kalinina L.M., Kalinin A.Yu., Kanakov M.S.,	
Soloviev M.V., Surikova E.S., Toropova T.N. Seismic and geological characteristics	
of sedimentary sequences and petroleum potential of the Yamal, Gydan and South Kara	
petroleum areas (Arctic regions of West Siberia, the Kara Sea shelf)	10
Yan P.A., Khabarov E.M. Well log data interpretation in paleogeographic reconstructions	
(in the case of the bathonian-upper jurassic deposits of South of West Siberia)	27
Olenchenko V.V., Kartoziya A.A., Tsibizov L.V., Osipova P.S., Esin E.I. Geoelectrical	
characteristics of Samoylov island coastline (Lena river delta)	39
Alphabetical index of the authors contributed to the journal in 2018	50

© Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, 2018

ISSN 2619-1563 (Online)

# 

*Геофизические технологии*, № 4, 2018, с. 4–9 doi: 10.18303/2619–1563–2018–4–1 www.rjgt.ru УДК 550.34

## ОЦЕНКА ХАРАКТЕРА ТЕКТОНИЧЕСКОГО СМЕЩЕНИЯ В ЗОНАХ РАЗЛОМОВ АЛТАЯ ПО ДАННЫМ О МЕХАНИЗМАХ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

О.А. Кучай<sup>1</sup>, П.Г. Дядьков<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, 630090, Новосибирск, просп. Акад. Коптюга, 3, Россия, <sup>2</sup>Новосибирский государственный университет, 630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 2, Россия, e-mail: KuchayOA @ipgg.sbras.ru

На основе данных о механизмах очагов землетрясений выявлены особенности горизонтальных смещений в зонах разломов Алтае-Саянской горной области. Левосторонние сдвиги характерны для разлома Богдо, Южно-Таннуольского и Саяно-Тувинского разломов, а также для восточной части Болнайского разлома. Для разлома Коктокай характерен правый сдвиг.

Алтае-Саянская горная область, механизм очага землетрясений, разлом, сдвиг

### EVALUATION OF THE TECTONIC DISPLACEMENTS IN FAULT ZONES OF THE ALTAI, ACCORDING TO THE EARTHQUAKE FOCAL MECHANISMS

#### O.A. Kuchay<sup>1</sup>, P.G. Dyadkov<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Koptug Avenue, 3, Novosibirsk, 630090, Russia,
<sup>2</sup>Novosibirsk State University, Pirogova str., 2, Novosibirsk, 630090, Russia, e-mail: KuchayOA @ipgg.sbras.ru

The characteristics of horizontal displacements in fault zones of the Altai-Sayan mountain region are revealed with use of the earthquake focal mechanisms data. Left-lateral strike-slips are characteristic for the Bogdo, Southern Tannuol and Sayan-Tuva faults, and for the eastern part of the Bollnay fault. Right-lateral strike-slip is characteristic for the Koktokay fault.

Altai-Sayan mountain region, earthquake focal mechanism, fault, shift

#### ВВЕДЕНИЕ

К вопросу о направлении смещения в зоне разлома существует несколько подходов. В одном случае смещение по разлому рассматривалось в предположении, что разрыв в очаге землетрясения совпадает с положением сместителя разлома и скольжение по разлому оценивается по сумме сейсмических моментов землетрясений [Brune, 1969]. В другом случае оценивается вклад землетрясений

© О.А. Кучай, П.Г. Дядьков, 2018

в движение по разлому при плоскостях разрыва в очагах, не совпадающих с положением сместителя самого разлома [Кучай, Юнга, 1984]. В нашем случае мы попытались оценить не вклад землетрясений в движение по разлому, а характер медленных тектонических смещений в зоне разлома по данным механизмов очагов землетрясений, произошедших в зоне динамического влияния разлома. Движение по геологическому длительно существующему разлому происходит под действием тех же тектонических сил, что и подвижки в очагах землетрясений, поэтому параметры механизмов очагов землетрясений можно рассматривать как датчики деформаций в земной коре. Мы будем оценивать только горизонтальную составляющую смещения, так как для этого имеется достаточное количество определений параметров механизмов очагов землетрясений разных магнитуд, происшедших вдоль зон разломов, в крыльях разлома и по самому разлому.

#### МЕТОДИКА И ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ

В соответствии с принятым в геологии правилом сдвиг, у которого противоположное от наблюдателя крыло движется налево (направо), называется левым (правым) сдвигом. Например, если зона разлома в целом характеризуется левосдвиговыми смещениями, то и деформации в зоне разлома за счет землетрясений будут приводить к левосдвиговым смещениям чаще, чем к правосдвиговым. Следовательно, лево- и правосдвиговые подвижки могут быть выявлены в случае преобладания в статистически значимых данных тех или иных механизмов очагов землетрясений. Так можно оценить предрасположенность лево- или правосдвиговых деформаций в зоне разлома отношением  $\xi = \varepsilon_{(n)} / \varepsilon_{(np)}$ , которое показывает во сколько раз в плоскости разлома левый сдвиг предпочтительнее правого или правый сдвиг предпочтительнее левого –  $\eta = \varepsilon_{(np)} / \varepsilon_{(n)}$ . Величины  $\varepsilon_{(np)}$  характеризуют средние лево- и правосдвиговые деформации в зоне разлома.

По представлениям [Ризниченко, 1975; Юнга, 1990], тензор скорости сейсмотектонической деформации  $\mathcal{E}_{ij}$  определяется суммой тензоров сейсмических моментов, нормированных на время, объем и модуль сдвига:

$$\mathcal{E}_{ij=} \frac{1}{2\mu Vt} \sum_{n=1}^{N} M_0^{(n)} m_{ij}^{(n)},$$

где  $\mu$  – модуль сдвига; V – элементарный объем; t – период исследования;  $M_0$  – сейсмический момент землетрясения с номером (n) (n = 1, 2, ..., N);  $m_{ij}$  – направляющий тензор механизма очага. Индексы компонент тензоров сейсмических моментов – (i, j = 1, 2, 3).

По Ю.В. Ризниченко [Ризниченко, 1985], сдвиговая компонента единичного тензора сейсмотектонических деформаций  $\mathcal{E}_{x,y}$  в географической системе координат в очаге индивидуального землетрясения определяется по формуле

$$\varepsilon_{xy} = 2\left(\sin^2\varphi_T \sin\alpha_T \cos\alpha_T - \sin^2\varphi_P \sin\alpha_P \cos\alpha_P\right),\,$$

где φ<sub>T</sub> и φ<sub>P</sub> – углы между вертикалью и осями растяжения (T) и сжатия (P), определенные в очагах каждого землетрясения, α<sub>T</sub> и α<sub>P</sub> – азимуты осей растяжения и сжатия, т. е. углы между горизонтальной проекцией осей растяжения (T) или сжатия (P) и меридианом.

Компонента нормированного тензора сейсмотектонических деформаций  $\varepsilon_{xy}$  в географической системе координат определяется по формуле

$$\varepsilon_{xy} = \frac{1}{\mu V t} \sum_{n=1}^{N} M_0^{(n)} \Big( \sin^2 \varphi_{T_n} \sin \alpha_{T_n} \cos \alpha_{T_n} - \sin^2 \varphi_{P_n} \sin \alpha_{P_n} \cos \alpha_{P_n} \Big).$$

Если ввести прямоугольную систему координат, где одна ось координат направлена горизонтально и параллельно линии простирания участка разлома, а другая в горизонтальной плоскости по нормали к этому разлому, то в этом случае сдвиговая компонента  $\mathcal{E}_{xy}$  нормированного тензора сейсмотектонических деформаций находится по формуле

$$\varepsilon_{xy} = \frac{1}{\mu V t} \sum_{n=1}^{N} M_0^{(n)} \Big( \sin^2 \varphi_{T_n} \sin \beta_{T_n} \cos \beta_{T_n} - \sin^2 \varphi_{P_n} \sin \beta_{P_n} \cos \beta_{P_n} \Big),$$

где  $\beta_{T_n}$  и  $\beta_{P_n}$  – углы между направлением единичного горизонтального вектора в плоскости разлома и горизонтальной проекцией осей сжатия (P) и растяжения (T), отсчитываемые по часовой стрелке от этого единичного вектора.

Имея данные по ориентации осей сжатия и растяжения в очагах землетрясений и азимут простирания разлома, можно рассчитать среднюю деформацию, соответствующую левому  $\mathcal{E}_{xy(n)}$  или правому  $\mathcal{E}_{xy(np)}$  сдвигу в зоне разлома [Кучай, 1990].

Условно примем, что сейсмотектонические деформации, благоприятствующие левому сдвигу, равны  $\varepsilon_{xy(\pi)} = \varepsilon_{xy}$  при  $\varepsilon_{xy} < 0$ , а правому  $\varepsilon_{xy(np)} = \varepsilon_{xy}$  при  $\varepsilon_{xy} \ge 0$ :

$$\varepsilon_{xy(n)} = \frac{1}{\mu V t} \sum_{n=1}^{N} M_0^{(n)} \left( \sin^2 \varphi_{T_n} \sin \beta_{T_n} \cos \beta_{T_n} - \sin^2 \varphi_{P_n} \sin \beta_{P_n} \cos \beta_{P_n} \right),$$
  
$$\varepsilon_{xy(np)} = \frac{1}{\mu V t} \sum_{n=1}^{N} M_0^{(n)} \left( \sin^2 \varphi_{T_n} \sin \beta_{T_n} \cos \beta_{T_n} - \sin^2 \varphi_{P_n} \sin \beta_{P_n} \cos \beta_{P_n} \right).$$

Отношение  $\xi = \varepsilon_{xy(n)} / \varepsilon_{xy(np)}$  показывает во сколько раз в плоскости разлома левый сдвиг предпочтительнее правого или правый сдвиг предпочтительнее левого  $\eta = \varepsilon_{xy(np)} / \varepsilon_{xy(n)}$ .

Расчет коэффициентов предпочтительности проводился с учетом величины сейсмического момента каждого землетрясения ( $\xi_{_{M}}$  и  $\eta_{_{M}}$ ) и без учета величины сейсмического момента ( $\xi$  и  $\eta$ ). Если значения  $\xi > \eta$  и  $\xi_{_{M}} > \eta_{_{M}}$ , то можно говорить о левом сдвиге в зоне разлома, если  $\xi < \eta$  и  $\xi_{_{M}} < \eta_{_{M}}$ , то в зоне разлома происходит правый сдвиг. При  $\xi > \eta$  и  $\xi_{_{M}} < \eta_{_{M}}$  или  $\xi < \eta$  и  $\xi_{_{M}} < \eta_{_{M}}$ , характер смещений по разлому различается в зависимости от используемых для расчета данных: с учетом величины сейсмического момента каждого землетрясения или без этого учета.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ

На территории Алтае-Саянской области встречаются разломы надвигового и сбросового типов с небольшой сдвиговой составляющей, для которых определяется эта сдвиговая составляющая. Коэффициенты предпочтительности направления горизонтального смещения ( *ξ* и *η* ) в зоне разлома были рассчитаны для главных разрывных нарушений Алтае-Саянской области. Для этого использовалась схема разломов из статьи [Бачманов и др., 2017] (рис. 1). Разломы, имеющие сложную конфигурацию на поверхности, разбивались на отдельные фрагменты с близким направлением простирания. Для расчета использовались механизмы очагов землетрясений, произошедших в зоне разлома на расстоянии до 30 км от сместителя разлома. Такое расстояние от разлома обусловлено размерами очагов используемых землетрясений (М≥4.6) и точностью определения координат. Расчеты основывались на параметрах (Р и Т) механизмов сейсмических очагов из базы данных 1963–2007 г. [Кучай, 2013] и отдельных землетрясений из каталога Монголии [Хилько и др., 1985], произошедших в 1905, 1931, 1957 гг. Для некоторых разломов количество использованных данных по механизмам очагов землетрясений недостаточно для надежного расчета. Поэтому для ряда разломов приведены предварительные результаты.

На основе выполненных расчетов были получены следующие значения параметров  $\xi$  и  $\eta$ :

**Южно-Таннуольский разлом** – по западной части (азимут разлома 65°): ξ =2.3, η =0.43, ξ<sub>μ</sub> =1.3, η<sub>μ</sub>=0.72; по восточной части (азимут 75°): ξ =11.34, η =0.09, ξ<sub>μ</sub> =20.35, η<sub>μ</sub>=0.05. Это свидетельствует о левом сдвиге как для западной, так и восточной частей разлома.

Саяно-Тувинский разлом (азимут разлома 67°):  $\xi$  =2.49,  $\eta$  =0.4,  $\xi_{\scriptscriptstyle M}$  =16.34,  $\eta_{\scriptscriptstyle M}$  =0.006 (левый сдвиг).

**Болнайский (Хангайский) разлом** – по западной части (азимут разлома 95°):  $\xi = 1.7$ ,  $\eta = 0.58$ ,  $\xi_{M} = 0.27$ ,  $\eta_{M} = 3.75$ ; по восточной части (азимут разлома 90°):  $\xi = 1.03$ ,  $\eta = 0.96$ ,  $\xi_{M} = 4395$ ,  $\eta_{M} = 0.0002$ . Таким образом, для западной части разлома получаем правый сдвиг по данным с учетом величины сейсмического момента землетрясений и левый сдвиг – по данным без учета этого параметра, для восточной части – левый сдвиг.

**Разлом Богдо** (азимут разлома 95–100°): в выражении  $\xi = \varepsilon_{xy(\eta)} / \varepsilon_{xy(\eta p)}$ ,  $\eta = 0$ ,  $\eta_{M} = 0$ , соответственно по этому разлому определяется левый сдвиг.

**Разлом Коктокай** (азимут разлома 160°):  $\xi$  =0.35,  $\eta$  =2.85,  $\xi_{_{M}}$  =0,  $\eta_{_{M}}$  =1426516.6.



Рис. 1. Карта разломов [Бачманов и др., 2017] и эпицентры землетрясений, параметры механизмов очагов которых были использованы при расчете преимущественного горизонтального типа смещения по разломам

При сопоставлении с геологическими материалами по смещению крыльев разломов наблюдается согласованность между полученными нами коэффициентами предпочтительности и горизонтальными составляющими тектонических движений в зонах разломов [Молнар и др., 1995; Трифонов и др., 2002].

#### выводы

Для обеих частей Южно-Таннуольского разлома и разломов Саяно-Тувинского и Богдо предпочтительным типом смещения является левый сдвиг. При разделении Болнайского (Хангайского) разлома на западную и восточную части по 96 меридиану, получаем для западной части разлома правый сдвиг по данным с учетом величины сейсмического момента землетрясений и левый сдвиг – по данным без учета этого параметра, для восточной части – левый сдвиг. Для разлома Коктокай характерен правый сдвиг.

Работа выполнена при частичной поддержке Интеграционного проекта СО РАН 34 и проекта РФФИ 17–05–01234.

#### ЛИТЕРАТУРА

Бачманов Д.М., Кожурин А.И., Трифонов В.Г. База данных активных разломов Евразии // Геодинамика и тектонофизика. – 2017. – № 8(4). – С. 711–736.

Кучай О.А., Юнга С.Л. Сейсмическое скольжение по Дарваз-Каракульскому разлому // Физика Земли. – № 1. – 1984. – С. 39–47.

**Кучай О.А.** Деформации и смещения блоков земной коры внутриконтинентальных орогенов (по данным о механизмах очагов землетрясений) // Геодинамика внутриконтинентальных горных областей: Сб. науч. трудов. – Новосибирск: Наука, 1990. – С. 242–246.

Кучай О.А. База данных «Параметры механизмов очагов землетрясений Алтае-Саянской области» / Свидетельство о государственной регистрации № 2013620060. – заявл. 01.11.2012; опубл. 09.01.2013. – 30 с.

**Молнар П., Курушин Р.А., Кочетков В.М., Демьянович М.Г., Борисов Б.А., Ващилов Ю.Я.** Деформация и разрывообразование при сильных землетрясениях в Монголо-Сибирском регионе // Глубинное строение Монголо-Сибирского региона. – Новосибирск: Наука, 1995. – С. 5–55.

Ризниченко Ю.В. Проблемы сейсмологии. – М.: Наука, 1985. – 407 с.

**Трифонов В.Г., Соболева О.В., Трифонов Р.В., Востриков Г.А.** Современная геодинамика Альпийско-Гималайского коллизионного пояса. – М.: ГЕОС, 2002. – 220 с.

Хилько С.Д., Курушин Р.А., Кочетков В.М., Мишарина Л.А., Мельникова В.И., Гилева Н.А., Ласточкин С.В., Балжинням, Монхоо Д. Землетрясения и основы сейсмического районирования Монголии. – М.: Наука, 1985. – 224 с.

Юнга С.Л. Методы и результаты изучения сейсмотектонических деформаций. – М.: Наука, 1990. – 191 с. Brune J.N., Henry T.L., Roy R.F. Heat flow, stress, and rate of slip along the San Andreas fault, California // J. Geophys. Res. – 1969. – Vol. 74. – Р. 3821–3827.

#### КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

КУЧАЙ Ольга Анатольевна – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории глубинных геофизических исследований и региональной сейсмичности полей Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН. Область научных интересов: механизмы очагов землетрясений, сейсмотектонические деформации по данным механизмов очагов землетрясений.

ДЯДЬКОВ Петр Георгиевич – кандидат геолого-минералогических наук, зав. лабораторией естественных геофизических полей Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, доцент кафедры геофизики ГГФ НГУ. Область научных интересов: современные геодинамические процессы и процессы подготовки землетрясений на основе анализа параметров сейсмического режима и результатов многолетнего тектономагнитного мониторинга в Байкальском и Алтайском регионах.

## 

*Геофизические технологии*, № 4, 2018, с. 10–26

doi: 10.18303/2619-1563-2018-4-3

www.rjgt.ru УДК 553.98

## СЕЙСМОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОСАДОЧНЫХ КОМПЛЕКСОВ И НЕФТЕГАЗОНОСНОСТЬ ЯМАЛЬСКОЙ, ГЫДАНСКОЙ И ЮЖНО-КАРСКОЙ НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ ОБЛАСТЕЙ

(Арктические регионы Западной Сибири, шельф Карского моря)

В.А. Конторович<sup>1</sup>, Д.В. Аюнова<sup>1</sup>, С.М. Гусева<sup>1</sup>, Л.М. Калинина<sup>1</sup>, А.Ю. Калинин<sup>1</sup>, М.С. Канаков<sup>1</sup>, М.В. Соловьев<sup>1</sup>, Е.С. Сурикова<sup>1</sup>, Т.Н. Торопова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, 630090, Новосибирск, просп. Академика Коптюга, 3, Россия, <sup>2</sup>Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья, 630091, Новосибирск, Красный просп., 67, Россия,

#### e-mail: KontorovichVA @ipgg.sbras.ru

В разрезе мезозойско-кайнозойского осадочного чехла Арктических регионов Западной Сибири и шельфа Карского моря выделяется шесть сейсмогеологических осадочных комплексов, залегающих на домезозойском основании. В работе приведена характеристика опорных сейсмических горизонтов и рассмотрены сейсмофациальные особенности палеозойского, триасового, юрского, неокомского, апт-альб-сеноманского и турон-кайнозойского сейсмогеологических комплексов. Сделан вывод о том, что крупные сеноманские газовые залежи характеризуются формированием отражающих горизонтов, связанных с газо-водяными контактами; апт-альбские залежи отображаются на временных разрезах сейсмической аномалией «яркого пятна».

Отражающий горизонт, сейсмогеологический комплекс, волновое поле, сейсмическая аномалия, «яркое пятно», Карское море, Западная Сибирь, нефтегазоносность, нефтегазовая залежь

## SEISMIC AND GEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF SEDIMENTARY SEQUENCES AND PETROLEUM POTENTIAL OF THE YAMAL, GYDAN AND SOUTH KARA PETROLEUM AREAS (Arctic regions of West Siberia, the Kara Sea shelf)

V.A. Kontorovich<sup>1</sup>, D.V. Ayunova<sup>1</sup>, S.M. Guseva<sup>1</sup>, L.M. Kalinina<sup>1</sup>, A.Yu. Kalinin<sup>1</sup>, M.S. Kanakov<sup>1</sup>, M.V. Soloviev<sup>1</sup>, E.S. Surikova<sup>1</sup>, T.N. Toropova<sup>1</sup>

> <sup>1</sup>Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Koptug Avenue, 3, Novosibirsk, 630090, Russia,
>  <sup>2</sup>Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources, Krasny Avenue, 67, Novosibirsk, 630091, Russia,

> > e-mail: KontorovichVA@ipgg.sbras.ru

© В.А. Конторович, Д.В. Аюнова, С.М. Гусева, Л.М. Калинина, А.Ю. Калинин, М.С. Канаков, М.В. Соловьев, Е.С. Сурикова, Т.Н. Торопова, 2018

10

There are six sedimentary seismic sequences overlying pre-Mesozoic basement in the Mesozoic-Cenozoic sedimentary cover of the Arctic regions of West Siberia and the Kara Sea shelf. The paper describes the seismic markers characteristics and the seismic-facial features of the Paleozoic, Triassic, Jurassic, Neocomian, Apt-Cenomanian and Turonian-Cenozoic seismic sequences. It was concluded that the features of large Cenomanian gas pools are seismic markers associated with gas-water contacts; Apt-Albian pools are displayed on time sections by a bright spot seismic anomaly.

Seismic marker, seismic sequences, wave field, seismic anomaly, "bright spot", Kara Sea, West Siberia, petroleum potential, hydrocarbon pool.

#### ВВЕДЕНИЕ

На современном этапе одной из приоритетных задач, стоящих перед геологами, геофизиками и нефтяниками, является изучение геологического строения Арктических регионов России, в том числе шельфов северных морей, где сконцентрированы значительные ресурсы нефти и газа [Конторович и др., 2010; Конторович, 2015]. Большая часть крупных и уникальных месторождений нефти и газа Западной Сибири, находящихся в эксплуатации многие десятилетия, в значительной мере истощены, и центры нефтегазодобычи постепенно смещаются далее на север, на полуострова Ямал, Гыданский и в акваторию Карского моря. В настоящее время введено в разработку Бованенковское и Новпортовское месторождения, расположенные на п-ве Ямал, эксплуатируются залежи Приразломного месторождения в Печорском море и т. д.

В нефтегазоносном отношении рассматриваемый регион включает Ямальскую, Гыданскую и Южно-Карскую нефтегазоносные области (НГО) Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции (НГП). В конце XX–начале XXI века в этих регионах выполнены большие объемы сейсморазведочных работ МОГТ и глубокого бурения, которые привели к открытию нефтяных и газовых месторождений как на континенте, так и в акватории.

На п-ве Ямал открыты Арктическое, Антипаютинское, Бованенковское, Крузенштернское, Малыгинское, Северо-Тамбейское, Харасавейское, Южно-Тамбейское, Новопортовское и др. месторождения, на п-ве Гыданский – Геофизическое, Гыданское, Салмановское, Штормовое и др., в Карском море – Русановское, Ленинградское и месторождение Победа.

Уникальные по запасам Русановское и Ленинградское газоконденсатные месторождения были открыты еще в советские годы в 1989 и 1990 гг. В 2013 г. компанией ОАО «Роснефть» на Университетской структуре, расположенной в непосредственной близости от архипелага Новая Земля, открыто нефтегазоконденсатное месторождение, получившее название «Победа» (рис. 1).

#### РЕГИОНАЛЬНАЯ СЕЙСМОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

На севере Западной Сибири, на территории Ямальской и Гыданской НГО, в разрезе мезозойскокайнозойских отложений выделено шесть сейсмогеологических мегакомплексов: триасовый, юрский, неокомский (берриас-нижнеаптский), апт-альб-сеноманский, турон-маастрихтский и кайнозойский. Все мезозойско-кайнозойские осадочные мегакомплексы контролируются в кровле регионально развитыми морскими глинистыми пачками – мегарегиональными флюидоупорами. Юрский, неокомский и апт-альбсеноманский мегакомплексы являются основными нефтегазоносными комплексами на территории Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции.



**Рис. 1.** Обзорная карта нефтегазогеологического районирования северных районов Западной Сибири, границы: 1 – Западно-Сибирской плиты, 2 – Западно-Сибирской НГП, 3 – НГО; 4 – НГР; 5 – месторождения углеводородов, 6 – сейсмические профили (а), по которым приведены сейсмогеологические разрезы (б)

Характерной особенностью мегарегиональных флюидоупоров является то, что все они представлены выдержанными по толщине трансгрессивными морскими глинистыми пачками, сформировавшимися в эпохи тектонического покоя и получившими распространение на обширных территориях Западной Сибири. Мегарегиональные флюидоупоры обладают аномально низкими относительно вмещающих пород акустическими характеристиками, к этим геологическим реперам приурочены наиболее энергетически выраженные отражающие сейсмические горизонты (табл. 1, рис. 2).

Отложения мезозойско-кайнозойского осадочного чехла залегают на комплексе основания, который представлен палеозойскими образованиями и базальтами, сформировавшимися в процессе раннетриасового рифтогенеза. В Западной Сибири палеозойский комплекс является самостоятельным объектом нефтегазопоисковых работ. В настоящее время на территории провинции в этом комплексе пород открыто более 60-ти месторождений нефти и газа, большая часть которых связана с карбонатами, глинисто-кремнистыми породами, гранитами и кислыми эффузивами.

Таблица 1

#### Стратификация реперных отражающих горизонтов

Индексация отражающих горизонтов	Стратиграфическая приуроченность (Западная Сибирь)
Φ	Кровля фундамента
A	Подошва терригенного триаса / кровля домезозойского основания
la	Подошва юры / кровля терригенного триаса
Б	Кровля баженовской свиты и ее аналогов, верхняя юра, волжский ярус
М	Кровля кошайской (нейтинской) пачки, нижний мел, апт
Г	Кровля кузнецовской свиты, верхний мел, турон
С	Кровля ганькинской свиты, кровля мела



**Рис. 2.** Сейсмогеологический разрез по региональному профилю № 26: 1 – основные (а) и дополнительные (б) отражающие горизонты, 2 – разрывные нарушения

Южная часть Карского моря в тектоническом плане охватывает Южно-Карскую региональную депрессию, которая является северным окончанием Западно-Сибирской геосинеклизы [Супруненко и др., 2009]. В нефтегазоносном отношении эта часть акватории выделена в составе Южно-Карской нефтегазоносной области (НГО) Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции (НГП).

Анализ геолого-геофизических материалов позволяет сделать вывод о том, что палеозойские и мезозойско-кайнозойские отложения Ямальской, Гыданской НГО и южной части Карского моря имеют

аналогичное геологическое строение и в этих регионах наибольший интерес в отношении газоносности представляет апт-альб-сеноманский комплекс пород, в отношении жидких углеводородов – неокомские и юрские отложения [Конторович и др., 2017; Конторович, 2018].

На рис. 3 приведен временной разрез по региональному профилю, пересекающему п-в Ямал и южную часть Карского моря, протяженность которого составляет 890 км. Профиль пересекает Татариновское и Западно-Маточкинское поднятия, расположенные в Карском море, Крузенштернское месторождение, которое находится на границе «море-континент», а также Бованенковское, Среднеямальское и Новопортовское месторождения, расположенные в Ямальской НГО. Анализ этих материалов позволяет сделать вывод о том, что все сейсмокомплексы, развитые на континентальной окраине Западной Сибири, продолжаются в акваторию Карского моря.



Рис. 3. Сейсмогеологический разрез по композитному профилю Reg\_II-II (Карское море – п-ов Ямал)

#### СЕЙСМОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСАДОЧНЫЕ КОМПЛЕКСЫ, НЕФТЕГАЗОНОСНОСТЬ

<u>Палеозойский сейсмогеологический мегакомплекс (комплекс основания)</u>. На большей части Западно-Сибирского бассейна палеозойские отложения претерпели влияние процессов герцинской складчатости и раннетриасового рифтогенеза и представляют собой сильно метаморфизованные дислоцированные толщи, являющиеся фундаментом мезозойско-кайнозойского осадочного чехла. В этих зонах на временных разрезах ниже отражающего горизонта **A** фиксируется хаотический энергетически невыразительный рисунок сейсмической записи.

На востоке Западно-Сибирского бассейна в Предъенисейской зоне и в Енисей-Хатангском региональном прогибе под мезозойско-кайнозойскими отложениями залегают неопротерозойскопалеозойские платформенные отложения, аналогичные комплексам Сибирской платформы. Анализ сейсмических данных позволяет предполагать, что венд-кембрийские платформенные отложения Енисей-Хатангского прогиба протянулись на северо-восток Западной Сибири, получили развитие в Гыданской НГО и в виде отдельных блоков продолжаются в южную часть Карского моря. На рис. 4 приведен временной разрез по профилю Reg\_109, который пересекает в меридиональном направлении всю территорию Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО), пересекая с юга на север Пур-Тазовскую и Гыданскую НГО. Анализ волновых полей позволяет сделать вывод о том, что в северном направлении мощность платформенных отложений, ниже которых на временных разрезах фиксируется хаотический рисунок сейсмической записи, увеличивается в три раза. Причем связано это как с появлением в разрезе триасового комплекса, так и развитием мощной 8-10-километровой толщи палеозойских платформенных отложений.



Рис. 4. Сейсмогеологические разрезы по профилям Reg\_3 и Reg\_109

Аналогичная картина наблюдается на широтных профилях, пересекающих Ямальскую и Гыданскую НГО. На п-ве Ямал палеозой представлен традиционной для Западной Сибири метаморфизованной толщей девонских карбонатов, отображающихся на временных разрезах хаотическим рисунком сейсмической записи. В этой зоне на Новопортовском месторождении открыта классическая для палеозоя Западной Сибири нефтяная залежь, сконцентрированная в девонских карбонатах.

Начиная от Обской губы и далее на восток, в разрезе палеозоя выделяется серия платформенных комплексов. В этой зоне рельеф кровли фундамента сильно дифференцирован, и в нем выделяются контрастные поднятия и прогибы. На этой территории в разрезе палеозоя наряду с верхним комплексом, который имеет плащеообразное распространение, в глубоких прогибах (врезах) появляются более древние осадочные толщи.

Анализ сейсмических материалов позволяет сделать вывод о том, что палеозойские платформенные отложения Енисей-Хатангского прогиба и п-ва Гыданский в виде отдельных блоков продолжаются в южную часть Карского моря (см. рис. 3).



**Рис. 5.** Сейсмогеологические разрезы по профилям, проходящим по линии Южно-Карский бассейн – Сибирский порог – Северо-Карский бассейн

В региональном плане в Южно-Карской НГО выделяются два крупных погруженных массива, в пределах которых резко увеличивается толщина платформенного палеозоя, а суммарная мощность фанерозойских платформенных отложений увеличивается до 12–14 км. Эти блоки, расположенные в западной и восточной частях Южно-Карской региональной депрессии, разделены крупным выступом фундамента, в пределах которого толщина платформенных отложений сокращается до 5 км (рис. 5).

<u>Триасовый сейсмогеологический мегакомплекс</u>. На севере Западной Сибири в составе триаса выделены красноселькупская и тампейская серии. Тампейская серия отвечает терригенному этапу седиментациии, имевшему место в среднем-позднем триасе, красноселькупская – раннетриасовому вулканогенно-осадочному этапу седиментации. Тампейская серия, представленная терригенными породами – песчаниками, алевролитами и аргиллитами, выделена в составе триасового сейсмогеологического мегакомплекса. На временных разрезах триасовый комплекс пород характеризуется переменно-амплитудной субпараллельной сейсмофацией. Подошва терригенного триаса контролируется горизонтом А, кровля – отражающим горизонтом Т. Триасовые терригенные отложения получили развитие на большей части исследуемой территории и отсутствуют только на западе Ямальской НГО, в пределах Арктического вала и Приуральской зоны (см. рис. 4). Наиболее мощные отложения тампейской серии на территории Западной Сибири вскрыты скважинами СГ-6, СГ-7, где толщина терригенного триаса составляет 955 и 765 м соответственно. В 2017 г. на Гыданском п-ве пробурена скважина Гыданская–130, глубина которой составила 6126 м. Забой скважины находится в пурской свите тампейской серии, вскрытая мощность терригенного триаса составила 562 м. Согласно сейсмическим данным максимальные толщины триасового сейсмокомплекса в наиболее погруженных участках исследуемой территории могут достигать 2-2.5 км.

В целом в Ямальской, Гыданской и Южно-Карской НГО в направлении обрамления Западно-Сибирского бассейна, в направлении Урала, п-ва Таймыр, архипелага Новая Земля и Сибирского порога толщина триасовых отложений постепенно сокращается вплоть до их выклинивания на выступы фундамента.

*Юрский сейсмогеологический мегакомплекс*. На временных сейсмических разрезах юрский мегакомплекс ограничен в подошве отражающим горизонтом **I**<sup>a</sup> и отражающим горизонтом **Б** (см. рис. 3).

Отражающий горизонт **Б** (верхняя юра, волжский ярус) на большей части Западной Сибири связан с баженовской свитой. Благодаря аномальности акустических свойств, выдержанности толщины свиты на значительных территориях и ее широкому распространению, этот горизонт является наиболее надежным сейсмическим репером в Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции. Волновой пакет **Б**, как правило, имеет длительность порядка 30–40 мс и представлен трехфазным колебанием; отражающий горизонт **Б** характеризуется высокой амплитудой, динамической выразительностью и устойчивостью. На исследуемой территории баженовская свита развита только в западной части в пределах Ямальской НГО. На Гыданском п-ве и, вероятно, в акватории Карского моря баженовская свита замещается гольчихинской свитой, которая характеризуется меньшей аномальностью всех физико-химических параметров. Несмотря на это, в разрезе свиты выделяются обладающие аномально-низкими скоростями распространения продольных сейсмических волн глинистые пачки, на которых формируются отраженные волны, не уступающие по динамике классическому горизонту **Б**.

Внутри юрского сейсмогеологического мегакомплекса выделяется серия квазипараллельных горизонту **Б** отражений **T**–**T**<sub>5</sub>, формирующихся на углисто-глинистых пачках, выполняющих роль зональных флюидоупоров и позволяющих разделить мегакомплекс на серию сейсмогеологических комплексов.

В целом юрский сейсмогеологический мегакомплекс распространен на всей исследуемой территории и, по аналогии с триасовым, характеризуется переменно-амплитудным субпараллельным рисунком сейсмической записи. Максимальная толщина комплекса составляет 2–2.5 км, мощность комплекса регионально уменьшается в направлении обрамления Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции.

Юрские, в первую очередь бат-оксфордские отложения горизонтов Ю<sub>2-4</sub> и Ю<sub>1</sub>, представляют несомненный интерес в отношении нефтегазоносности. В настоящее время в Ямальской и Гыданской НГО с этими горизонтами связана целая серия нефтегазовых залежей, открытых на Новопоротовской, Харасавэйской, Северо-Тамбейской, Геофизической и др. площадях. В акватории Карского моря промышленные притоки легкой нефти получены из горизонта Ю<sub>1</sub> на месторождении Победа.

<u>Неокомский (берриас-нижнеаптский) мегакомплекс</u>. На временных сейсмических разрезах основание неокомского комплекса контролируется отражающим горизонтом **Б**, кровля – горизонтом **М**.

<u>Отражающий горизонт **М** (ранний мел, апт)</u> на большей части Западной Сибири формируется на глинистой кошайской пачке, датируемой ранним аптом. На севере Западной Сибири возрастным и генетическим аналогом кошайской пачки является нейтинская пачка, залегающая в средней части танопчинской свиты. Волновой пакет **М** представлен цугом колебаний, внутри которого происходит перераспределение энергии между отдельными фазами интерференционной волны. Этот горизонт характеризуется невысоким качеством прослеживания и является наименее надежным сейсмическим репером в осадочном чехле Западной Сибири.

В составе неокомского мегакомплекса выделяют клиноформный и шельфовый комплексы пород [Наумов и др., 1977; Нежданов, 1988; Карогодин и др., 2000]. Четкой отражающей границы, разделяющей клиноформный и шельфовый комплексы, нет. Клиноформная часть неокома отображается на временных разрезах серией косослоистых отражающих горизонтов, последовательно приближающихся к горизонту **Б**.

Наиболее динамически выраженные и прослеживаемые на относительно больших расстояниях косослоистые отражающие горизонты формируются на глинистых пачках, которые обладают аномально низкими скоростями распространения продольных сейсмических волн и контролируют региональные клиноформы. Формирование глинистых пачек происходило на трансгрессивных этапах развития и связано с паузами в латеральном привносе терригенного материала и вертикальным осаждением тонкой взвеси, которое не контролировалось палеорельефом.

Геологические тела, ограниченные энергетически выраженными наклонными отражающими горизонтами, представлены песчаниками, алевролитами и аргиллитами, формировались на регрессивных этапах развития, когда шел процесс латерального привноса терригенного материала и активного бокового наращивания палеосклона.

В зоне шельфа отражающие горизонты, приуроченные к кровлям и подошвам клиноформ, прослеживаются субпараллельно отражающему горизонту **Б**, при этом значения  $\Delta T$  между этими

18

горизонтами монотонно и незначительно уменьшается в направлении падения клиноформ. В области континентального склона углы наклона отражающих горизонтов резко увеличиваются, а в глубоководной зоне вновь выполаживаются. На большей части Западно-Сибирского бассейна неокомские отражающие горизонты наклонены в западном и северо-западном направлениях. Встречные клиноформы, погружающиеся в восточном направлении, фиксируются на единичных сейсмических профилях, при этом осевая зона, где "встречаются" клиноформы западного и восточного падения, расположена вблизи Урала (рис. 6).

Ассиметричное строение неокомского комплекса Западной Сибири свидетельствует о том, что в берриас-барреме юго-восточное и восточное обрамления Западной Сибири существенно возвышались над Уралом и основной объем терригенного материала сносился с Алтае-Саянской складчатой области и Сибирской платформы. На исследуемой территории клиноформы западного и восточного падения встречаются на западе Ямальской НГО на уровне Арктического мегавала.

На территории Западной Сибири неокомский комплекс пород является основным нефтеносным комплексом и с ним связано более 80 % нефтяных залежей. Условия формирования неокомских отложений и постседиментационные тектонические процессы предопределили распределение резервуаров и флюидоупоров и типы ловушек, контролирующих залежи углеводородов.

Клиноформы восточного падения, как правило, представлены глинистыми разностями, не содержат коллекторов и не представляют интереса в отношении нефтегазоносности.



Рис. 6. Фрагмент сейсмогеологического разреза по региональному профилю Reg\_19

В пределах западных клиноформ, в области перехода шельфа в континентальный склон, происходит глинизация шельфовых песчаных пластов, а в зонах перехода континентального склона в глубоководную часть клиноформ формируются песчаники ачимовской толщи.

Шельфовые песчаные пласты неокома развиты на обширных территориях, сконцентрированные в них залежи углеводородов, как правило, контролируются антиклинальными структурами. Глубоководные ачимовские песчаники имеют линзовидное распространение и характеризуются неустойчивостью фильтрационно-емкостных свойств. Связанные с ними залежи контролируются неантиклинальными литологическими и структурно-литологическими ловушками.

В Ямальской и Гыданской НГО неокомский комплекс пород имеет классическое для Западной Сибири строение – на временных разрезах фиксируется косослоистый рисунок сейсмических данных и выделяется серия клиноформ, последовательно погружающихся в западном и северном направлении (см. рис. 3).

В Южно-Карской НГО неокомские отложения также имеют клиноформное строение. На временных разрезах фиксируются косослоистые отражающие горизонты, последовательно приближающиеся к горизонту **Б**, приуроченному к кровле юры. При этом на сейсмических разрезах по профилям, ориентированным в широтном направлении параллельно архипелагу Новая Земля, выделяются косолоистые отражающие горизонты, погружающиеся как в западном, так и в восточном направлениях и сходящиеся в центральной части Южно-Карской региональной депрессии (рис. 7). На сейсмических разрезах по меридиональным профилям, связывающих континентальную и морскую части рассматриваемой территории, выделяются клиноформы южного и северного падения (см. рис. 5). При этом осевая часть неокомского бассейна, в пределах которой сходятся меридиональные клиноформы, проходит вблизи береговой линии [Конторович и др., 2017; Конторович, 2018].



**Рис. 7.** Неоком Южно-Карской региональной депрессии (фрагменты временных разрезов по широтному профилю Reg\_13 (A) и меридиональному Car\_Sea-Cont\_II (Б))

Морфология клиноформ Южно-Карской НГО позволяет сделать вывод о том, что в этом регионе формирование неокомского комплекса происходило за счет поступления терригенного материала с севера (архипелаг Новая Земля), запада (о. Вайгач) и востока (Сибирский порог), которые возвышались над уровнем моря и выполняли роль источников сноса.

В отличие от восточных клиноформ Западной Сибири, в пределах которых шельфовые части имеют незначительные размеры, клиноформы Южно-Карской НГО в поперечном сечении достигают 200–250 км и имеют нормальные углы наклона континентального склона, что позволяет рассчитывать на формирование выдержанных шельфовых песчаных пластов и линзовидных песчаников ачимовской пачки, представляющих интерес в отношении нефтегазоносности. Кроме этого, в рельеф кровли неокома Южно-Карской НГО выделено 30 локальных поднятий – потенциальных ловушек для залежей углеводородов.

<u>Апт-альб-сеноманский мегакомплекс</u>. На временных разрезах апт–альб–сеноманский мегакомплекс контролируется отражающими горизонтами **M**, **M**<sub>1</sub> в подошве и **Г** в кровле.

Отражающий горизонт Г (верхний мел, турон), формирующийся на пачке аргиллитов кузнецовской свиты, наряду с горизонтом Б, является наиболее надежным сейсмическим репером в Западной Сибири – на большей части территории бассейна горизонт обладает высоким энергетическим уровнем, динамической выразительностью и устойчивостью.

Отражающий горизонт Г разделяет два сейсмогеологических мегакомплекса, характеризующихся различными рисунками сейсмической записи. Для преимущественно континентальных отложений аптальб-сеномана характерны прерывистые, хаотически распределенные отражения; для перекрывающих морских отложений турон-маастрихтского мегакомплекса – выдержанные, энергетически выраженные отражающие горизонты с протяженными осями синфазности.

В разрезе апт-альб-сеномана отсутствуют выдержанные глинистые пачки, обладающие аномальными акустическими характеристиками. Несмотря на то, что в Ямальской, Гыданской и Южно-Карской НГО в разрезе комплекса выделяется танопчинский (Ханты-Мансийский) региональный флюидоупор, контролирующий значительные газовые залежи в пластах группы ТП, он не обладает аномальными скоростями и с трудом поддается сейсмической корреляции на значительных территориях. На локальных площадях внутри апт-альб-сеноманского мегакомплекса выделяются приуроченные к локальным и зональным флюидоупорам относительно устойчивые отражающие горизонты, интенсивность и динамическая выразительность которых существенно меняются по площади.

В основании апт-альб-сеноманского мегакомплекса в северных и Арктических регионах Западной Сибири и в акватории Карского моря выделяется 250-метровая толща, характеризующаяся высоким энергетическим уровнем и неустойчивостью отражающих горизонтов (см. рис. 4). В работах многих исследователей отмечалось, что на севере Западной Сибири источником сухого сеноманского газа, наряду с глубокозалегающими горизонтами юры, являются толщи, обогащенные углистым веществом, залегающие в низах апта и находящиеся в верхней зоне газообразования. В классическом терригенном разрезе аномальными акустическими характеристиками, способными формировать такие высокоамплитудные неустойчивые цуги сейсмических колебаний, обладают только пласты углей и углистых аргиллитов. Вероятно, в Арктическом секторе Западной Сибири, именно эта обогащенная гумусовой органикой газопроизводящая толща и находит отражение в волновых сейсмических полях.

В арктических регионах Западной Сибири и акватории Карского моря апт-альб-сеноманский комплекс пород является наиболее перспективным в отношении газоносности. С ним связаны уникальные газовые месторождения, контролируемые, как правило, высокоамплитудными антиклинальными структурами. Анализ геолого-геофизических материалов показал, что крупные газовые залежи апт-альб-сеноманского комплекса находят отражение в волновых сейсмических полях [Конторович и др., 2017; Конторович, 2018]. Причем эти сейсмические аномалии выделяются как в континентальной части исследуемой территории, так и в акватории.

На поднятиях, к которым приурочены массивные сеноманские газовые залежи, на временных разрезах часто выделяются газо-водяные контакты (ГВК) – на контакте газо- и водонасыщенных песчаников горизонта ПК<sub>1</sub>, залегающего под кузнецовским региональным флюидоупором, формируется интенсивная отраженная волна (рис. 8). На таких объектах под антиклинальными структурами, выделяемыми в рельефе приуроченного к кровле сеномана отражающего горизонта Г, фиксируются локально развитые отражающие сейсмические горизонты, которые в направлении склонов поднятий сливаются с горизонтом Г. Приуроченные к ГВК отражающие горизонты, как правило, прослеживаются квазигоризонтально или имеют выпуклую вниз форму и секут разновозрастные отложения.

<u>Апт-альбские пластовые газовые залежи</u> отображаются на временных разрезах резким увеличением амплитуд сейсмической записи и формированием сейсмической аномалии «яркого пятна» (рис. 9). Этот эффект существенно усиливается при наличии серии залежей в близкорасположенных газонасыщенных песчаных пластах, что является типичным для месторождений севера Западной Сибири. В этом случае происходит формирование интерференционной волны и энергия сейсмической аномалии существенно возрастает.



**Рис. 8.** Сейсмические образы газовых залежей месторождений Крузенштернское и Победа 22



Рис. 9. Сейсмические образы газовых залежей Ленинградского и Южно-Тамбейского месторождений

<u>Турон-маастрихтский и кайнозойский мегакомплексы</u>. Залегающие в верхней части мезозойско-кайнозойского осадочного чехла отложения верхов мела и кайнозоя разделены регионально развитой глинистой пачкой талицкой свиты на два осадочных мегакомплекса: турон-маастрихтский и кайнозойский.

<u>Турон-маастрихтский сейсмогеологический мегакомплекс</u> контролируется отражающим горизонтом **Г** в подошве, **С** – в кровле; <u>кайнозойский мегакомплекс</u> – отражающим горизонтом **С** в подошве и дневной поверхностью (линией приведения) в кровле. В Надым-Пурском междуречье отражающий горизонт **С** характеризуется высоким энергетическим уровнем, динамической устойчивостью и надежно прослеживается на временных сейсмических разрезах.

Турон-маастрихтский мегакомплекс характеризуется высокоамплитудным субпараллельным рисунком сейсмической записи, кайнозойский – преимущественно хаотическими волновыми полями.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящая работа посвящена анализу геологического строения и оценке перспектив нефтегазоносности арктических регионов Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции. В географическом плане исследуемая территория охватывает п-ова Ямал, Гыданский и южную расположенную к югу от архипелага Новая Земля часть Карского моря.

Анализ геолого-геофизических материалов показал, что южная часть Карского моря в геологическом плане является продолжением Западно-Сибирского осадочного бассейна, в нефтегазоносном отношении рассматриваемый регион включает Ямальскую, Гыданскую и Южно-Карскую нефтегазоносные области (НГО) Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции (НГП). В конце XX– начале XXI века в этих регионах выполнены большие объемы сейсморазведочных работ МОГТ и глубокого бурения, которые привели к открытию нефтяных и газовых месторождений как на континенте, так и в акватории.

На севере Западной Сибири в разрезе мезозойско-кайнозойских отложений выделено шесть сейсмогеологических мегакомплексов, контролируемых в кровле регионально развитыми морскими глинистыми пачками – мегарегиональными флюидоупорами, к которым приурочены региональные сейсмические реперы.

Юрский, неокомский и апт-альб-сеноманский мегакомплексы являются основными нефтегазоносными комплексами на территории Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции, и в качестве самостоятельного объекта нефтепоисковых работ выступают палеозойские отложения.

По результатам проведенных исследований построены региональные сейсмогеологические модели, рассмотрены перспективы нефтегазоносности палеозойских и мезозойских осадочных комплексов Арктических регионов Западной Сибири и южной части акватории Карского моря.

В частности, сделаны выводы о том, что:

• в Гыданской и Южно-Карской НГО мезозойско-кайнозойский осадочный чехол залегает на мощной толще палеозойских платформенных отложений;

• в разрезе мезозоя наиболее перспективными в отношении жидких углеводородов являются средне-верхнеюрские и неокомские отложения, причем неокомский клиноформный комплекс Ямальской и Гыданской НГО имеет традиционное для Западной Сибири строение и образовывался за счет сноса терригенного материала с восточного и юго-восточного обрамления Западно-Сибирского бассейна; формирование клиноформ Южно-Карской НГО происходило за счет разрушения воздымавшихся над уровнем моря массивов архипелага Новая Земля и Сибирского порога;

• наиболее перспективными в отношении газоносности являются апт-альб-сеноманские отложения, при этом крупные газовые залежи находят отражение в волновых сейсмических полях: на массивных сеноманских залежах на временных разрезах формируются отражающие горизонты от газоводяных контактов; апт-альбские пластовые залежи отображаются на временных разрезах резким увеличением амплитуд волновых полей – «ярким пятном».

Работа выполнена в рамках проектов НИР ИНГГ СО РАН при финансовой поддержке проекта РФФИ 18–05–70105 «Ресурсы Арктики» и научного проекта РФФИ 18–35–00492.

#### ЛИТЕРАТУРА

Карогодин Ю.Н., Казаненков В.А., Рыльков С.А., Ершов С.В. Северное Приобье Западной Сибири. Геология и нефтегазоносность неокома: Системно-литмологический аспект / Науч. ред. акад. А.Э. Конторович. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2000. – 200 с.

Конторович А.Э., Эпов М.И., Бурштейн Л.М., Каминский В.Д., Курчиков А.Р., Малышев Н.А., Прищепа О.М., Сафронов А.Ф., Ступакова А.В., Супруненко О.И. Геология, ресурсы углеводородов

шельфов арктических морей России и перспективы их освоения // Геология и геофизика. – 2010. – Т. 51, № 1. – С. 7–17.

Конторович А.Э. Пути освоения ресурсов нефти и газа российского сектора Арктики // Вестник РАН. – 2015. – Т. 85, № 5–6. – С. 420–430.

Конторович В.А., Аюнова Д.В., Губин И.А., Калинин А.Ю., Калинина Л.М., Конторович А.Э., Малышев Н.А., Скворцов М.Б., Соловьев М.В., Сурикова Е.С. История тектонического развития арктических территорий и акваторий Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции // Геология и геофизика. – 2017. – Т. 58, № 3–4. – С. 423–444.

Конторович В.А. Нефтегазоносность Карского моря // Деловой журнал Neftegaz.RU – 2018. – № 11. – С. 34–43.

Конторович А.Э., Бурштейн Л.М., Малышев Н.А., Сафронов П.И., Гуськов С.А., Ершов С.В., Казаненков В.А., Ким Н.С., Костырева Е.А., Меленевский В.Н., Лившиц В.Р., Поляков А.А., Скворцов М.Б. Историко-геологическое моделирование процессов нафтидогенеза в мезозойскокайнозойском осадочном бассейне Карского моря (бассейновое моделирование) // Геология и геофизика. – 2013. – Т. 54, № 8. – С. 1179–1226.

Наумов А.Л., Онищук Т.М., Биншток М.М. Об особенностях формирования разреза неокомских отложений Среднего Приобья // Геология и разведка нефтяных и газовых месторождений Западной Сибири. – Тюмень: ТИИ, 1977. – С. 39–49.

**Нежданов А.А.** Основные закономерности строения сейсмостратиграфических комплексов неокома Западной Сибири // Геофизические методы при обосновании объектов нефтепоисковых работ в центральных районах Западной Сибири. – Тюмень: ЗапСибНИГНИ, 1988. – С. 62–70.

Супруненко О.И., Устрицкий В.И., Зуйков О.Н. Геолого-геофизическое районирование севера Баренцево-Карского шельфа по данным сейсморазведки // Геология нефти и газа. – 2009. – № 4. – С. 17–25.

#### КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

КОНТОРОВИЧ Владимир Алексеевич – доктор геолого-минералогических наук, член-корреспондент РАН. Крупный специалист в области нефтегазоносности, тектоники и сейсмостратиграфии осадочных бассейнов Сибири. Область научных интересов: разработка методов прогнозирования геологического разреза, выявление и детальное картирование залежей углеводородов на базе комплексного анализа геолого-геофизических данных, разработка геолого-геофизических методов поиска месторождений нефти и газа в различных осадочных комплексах Сибири от венда до сеномана включительно.

АЮНОВА Дарья Владимировна – научный сотрудник ИНГГ СО РАН. Специалист в области интерпретации сейсморазведочных материалов и данных ГИС. Основные научные интересы: сейсмогеологическая и структурно-тектоническая характеристики, нефтегазоносность мезозойско-кайнозойского комплекса Западной Сибири.

*ГУСЕВА Софья Михайловна* – аспирант и младший научный сотрудник ИНГГ СО РАН. Специалист в области комплексной интерпретации материалов сейсморазведки и ГИС. Основные научные интересы:

тектоническое строение, структурная характеристика, история тектонического развития, геологическое строение, перспективы нефтегазоносности мезозойско-кайнозойского комплекса арктических регионов Западной Сибири.

КАЛИНИНА *Людмила Михайловна* – кандидат геолого-минералогических наук. Специалист в области интерпретации материалов ГИС и комплексного анализа сейсмогеологических материалов. Основные научные интересы: анализ геологического строения, условия формирования и нефтегазоносность мезозойских и палеозойских отложений Западно-Сибирской геосинеклизы.

КАЛИНИН Александр Юрьевич – кандидат геолого-минералогических наук. Основные научные интересы: геологическое строение, условия формирования и нефтегазоносность мезозойских и палеозойских отложений Западной Сибири и Арктики.

*КАНАКОВ Михаил Сергеевич* – научный сотрудник ИНГГ СО РАН. Специалист в области сейсмогеологического и математического моделирования волновых полей.

СОЛОВЬЕВ Максим Владимирович – кандидат геолого-минералогических наук. Специалист в области комплексной интерпретации данных сейсморазведки и глубокого бурения. Основные научные интересы: геологическое строение, условия формирования и нефтегазоносность мезозойских и палеозойских отложений Западно-Сибирской геосинеклизы и северных районов Восточной Сибири.

СУРИКОВА Екатерина Сергеевна – кандидат геолого-минералогических наук, доцент, научный сотрудник ИНГГ СО РАН. Специалист в области комплексной интерпретации материалов ГИС, сейсморазведки. Область научных интересов: тектоника и нефтегазоносность северных и арктических регионов Западной Сибири на основе интерпретации данных сейсморазведки МОГТ и данных глубокого бурения, построение сейсмогеологических моделей месторождений территории Западной Сибири.

ТОРОПОВА Татьяна Николаевна – заведующая лабораторией сейсмостратиграфии СНИИГГиМС. Специалист в области интерпретации сейсмических данных, сейсмофациального и сейсмостратиграфического анализа. Основные научные интересы: палеогеография, сейсмофациальный и палеотектонический анализ северо-восточных районов Западной Сибири.

# 

Геофизические технологии, № 4, 2018, с. 27–38

doi: 10.18303/2619-1563-2018-4-4

www.rjgt.ru УДК 552.2+551.762.31

## ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДАННЫХ ГИС ПРИ ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКИХ РЕКОНСТРУКЦИЯХ (НА ПРИМЕРЕ БАТ-ВЕРХНЕЮРСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ)

#### П.А. Ян, Е.М. Хабаров

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, 630090, Новосибирск, просп. Акад. Коптюга, 3, Россия, Новосибирский государственный университет, 630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 2, Россия, e-mail: YanPAipgg.sbras.ru

По результатам комплексного седиментологического исследования керна и материалов ГИС проведено расчленение разрезов бат-верхнеюрских отложений юга Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна. Выделены квазиизохронные реперные уровни, представленные трансгрессивными поверхностями, поверхностями максимального затопления и протяженными углистыми пластами, которые легли в основу выполненной корреляции. Установлен набор характерных литолого-фациальных последовательностей, диагностируемых по материалам ГИС.

Литология, палеогеография, ГИС, коллекторы, горизонт Ю1, бат-верхняя юра, Западная Сибирь

## WELL LOG DATA INTERPRETATION IN PALEOGEOGRAPHIC RECONSTRUCTIONS (IN THE CASE OF THE BATHONIAN-UPPER JURASSIC DEPOSITS OF SOUTH OF WEST SIBERIA)

#### P.A. Yan, E.M. Khabarov

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Koptug Avenue, 3, Novosibirsk, 630090, Russia, Novosibirsk State University, Pirogova str., 2, Novosibirsk, 630090, Russia, e-mail: YanPA @ipgg.sbras.ru

According to the results of a comprehensive sedimentological study of the core and well log data, the dissection of the bat-upper Jurassic sediments of the South of the West Siberian oil and gas basin was carried out. Quasi-isochronous marked levels are identified. They are represented by transgressive surfaces, maximum flooding surfaces and extended carbonaceous layers. They are the basis of the performed correlation. A number of characteristic lithological-facies sequences diagnosed by well log data was established.

Lithology, paleogeography, well log data, reservoir, J1-horizon, Bathonian-Upper Jurassic, Western Siberia

#### ВВЕДЕНИЕ

Седиментологические (в широком смысле) исследования нефтегазоносных отложений в настоящее время проводятся для решения самого широкого круга задач (от поисковых и разведочных до эксплуатационных) практически всеми геологическими организациями нефтяного профиля с применением

самых разнообразных методов. До сих пор наиболее точные и достоверные результаты на закрытых территориях позволяют получить исследования, проводимые по керну скважин. Однако фрагментарность отбора керна, его неполный выход и еще целый ряд причин диктуют необходимость применения скважинной геофизики. Впервые использовать результаты скважинной геофизики для проведения литофациальных построений предложили специалисты компании «Shell» во второй половине 50-х годов XX века. В 70-х гг. опубликованы работы [Pirson, 1970; Shelton,1972; Busch, 1974; Conybeare, 1976] и др. Методические разработки отечественных исследователей отражены в публикациях [Чернова, 1976; Белозеров, 1984; Конторович и др., 2010; Казаненков, Карпов, 2011] и др. Но наибольшей популярностью у российских специалистов пользуется работа [Муромцев, 1984], в которой автор, опираясь на опыт и разработки преимущественно иностранных коллег, применил генетическую интерпретацию материалов ГИС для юрских отложений Жетыбай-Узеньской тектонической ступени Мангышлака, которые характеризовались небольшими глубинами залегания, высокой степенью изученности по обнажениям и керну скважин, незначительной литификацией и отсутствием карбонатизированных прослоев значительной мощности. В дальнейшем В.С. Муромцев опробовал разработанные приемы анализа материалов ГИС на более сложных объектах, в том числе и в Западной Сибири. Необходимо отметить, что проведенная им работа и полученные результаты с седиментологической точки зрения в значительной степени обоснованы. К сожалению, его последователи в своих построениях на основе генетической интерпретации данных ГИС зачастую упускают некоторые важные моменты, на которых мы попытаемся акцентировать внимание в данной статье.



**Рис. 1.** Схема структурно-фациального районирования келловея и верхней юры Западной Сибири и фрагмент региональной стратиграфической схемы [Решение..., 2004]

Коллективом лаборатории седиментологии ИНГГ СО РАН была проведена работа по построению седиментационной модели бат-вехнеюрских отложений юга Западной Сибири, целью которой являлось выделение и прогнозирование интервалов и зон с улучшенными коллекторскими свойствами. Территория исследования располагается в зоне сочленения Пурпейско-Васюганского, Омского и Сильгинского структурно-фациальных районов и имеет протяженность примерно 240 км в широтном направлении и около 100 км в меридиональном (рис. 1).

Материалом для седиментологических исследований послужил керн 70 скважин и результаты ГИС (стандартный электрический, индукционный и радиоактивный каротаж) более 200 скважин.

Объектом являются бат-верхнеюрские отложения, включающие нефтегазоносный горизонт Ю2 верхней части тюменской свиты (средний-верхний бат) и васюганскую свиту (келловей-оксфорд). Горизонт Ю<sub>2</sub> в южных районах Западной Сибири представлен преимущественно глинисто-терригенными континентальными угленосными отложениями. Нижняя его граница обычно проводится по кровле угольного пласта У<sub>2</sub> или коррелятивной ей поверхности. Верхняя граница проводится по подошве (пахомовская пачка), залегающего в основании существенно глинистой морской пласта Ю<sub>2</sub>0 нижневасюганской подсвиты. Над пахомовской пачкой выделяется когалымская пачка тонкоотмученных аргиллитов [Ян и др., 2017]. Горизонт Ю1 в центральных и южных районах Западной Сибири подразделяется на подугольную и надугольную пачки, разделенные существенно континентальной межугольной пачкой или пластом угля У1 [Белозеров и др., 1980, 1991]. Эти пачки имеют разное генетическое наполнение и хорошо выделяются в разрезах оксфордских отложений, однако их границы диахронны (в рамках двух подъярусов). По этой причине мы были вынуждены отказаться от традиционных подходов к корреляции келловей-оксфордских отложений, основанных на прослеживании подугольной, межугольной и надугольной пачек и провести альтернативные расчленение и корреляцию. Для этого на начальном этапе исследований выполнялись ревизия, детальное описание, фотографирование керна скважин и отбор образцов для комплексного анализа. Затем по каждой скважине проводилось построение разрезов, привязка керна к данным ГИС и строились вертикальные седиментационные модели. При реконструкции условий и обстановок седиментации отложений учитывался широкий спектр признаков: вещественно-текстурные свойства пород, характер растительных и фаунистических остатков, тип биотурбации, минеральные включения, данные петрографии и гранулометрии, результаты микроанализа структурно-текстурных особенностей пород, характер границ между литологическими единицами. Особое внимание уделялось выявлению последовательностей пород разного ранга (седиментационные циклы и ассоциации), в том числе с использованием данных ГИС. Предварительное исследование кернового материала и вертикальных разрезов позволили расшифровать структуру бат-верхнеюрских отложений и получить представление о характере развития этой части седиментационного бассейна. В соответствии с ними было выделено несколько границ, соответствующих существенным перестройкам осадочных систем, отчетливо фиксируемых на каротажных диаграммах, и которые в пределах рассматриваемой территории можно уверенно считать квазиизохронными: это кровли выдержанных по простиранию углистых пластов, поверхности максимального затопления и трансгрессивные поверхности, отвечающие подошвам пахомовской и барабинской пачек (рис. 2).





Трансгрессивные поверхности соответствуют эпизодам резкого высокоамплитудного поднятия относительного уровня моря, во время которых формировались пахомовская и барабинская пачки. Эти пачки имеют весьма специфический состав, отчетливо выделяются в керне по резкому пику индукционного каротажа и прослеживаются на большей части Западной Сибири. Поверхности максимального затопления отвечают этапам трансгрессии и фиксируются на каротажных кривых резким повышением значений ГК и понижением КС. Поверхность максимального затопления васюганского сиквенса второго порядка приурочена к когалымской пачке (верхи нижнего – верхний келловей) и трассируется практически по всему Западно-Сибирскому бассейну. Несколько поверхностей затопления более высокого порядка использовались для корреляции событий при формировании верхневасюганской подсвиты. Углистые пласты характеризуются низкими значениями ГК и НГК и высокими КС. Формирование выдержанных углистых реперов отвечает этапам максимальной регрессии с образованием Необходимо отметить, обширных заболачивающихся пойменных равнин. что существенно континентальные тюменская свита и межугольная пачка содержат большое и неравномерное количество углистых пластов и прослоев, не имеющих высокого корреляционного потенциала, но значимых для генетической интерпретации отложений. В качестве одного из основных реперов использовался пласт значительной толщины и протяженности в верхней части нижнеоксфордского комплекса и который мы рассматривали, как квазиизохронный, т. е. не претерпевающий значительных стратиграфических изменений на большей части изученной территории. Более-менее протяженные пласты использовались для корреляции отложений в пределах отдельных площадей или месторождений.

Подготовленная таким образом корреляционная основа позволила провести латеральное сопоставление разнофациальных, но одновозрастных отложений, формировавшихся в естественном последовательном ряду палеообстановок. Эти ряды были выделены в четыре седиментационных квазиизохронными границами: средне-верхнебатский комплекса С (Ю<sub>2</sub>); келловейский (нижневасюганская подсвита и часть подугольной толщи); нижнеоксфордский (часть подугольной толщи и межугольная толща); средне-верхнеоксфордский (надугольная толща) (см. рис. 2). В пределах этих комплексов удалось провести экстраполяцию результатов литолого-фациального анализа кернового материала на разрезы, охарактеризованные только геофизическими данными и выделить ограниченное количество литофациальных последовательностей, которые с высокой достоверностью диагностируются по стандартному и радиоактивному каротажу. Ниже приведены примеры наиболее характерных из них.

<u>Литофациальные последовательности заполнения русел</u>. Каротажные диаграммы отражают структуру соответствующих песчаных тел с резкой подошвой, грубым материалом в основании и постепенным утонением его вверх по разрезу (рис. 3). Значения естественной радиоактивности на нижних границах резко падают; в зависимости от мощности пласта на уровне минимальных значений может наблюдаться «пилообразная» боковая линия и постепенный верхний переход в сторону высоких значений, отвечающих пойменным отложениям. Кривая НГК обычно ведет себя обратным образом. Отрицательные аномалии ПС, как правило, имеют горизонтальную подошвенную линию и наклонную кровельную, однако в случае вторичной карбонатизации песчаников аномалии может не наблюдаться, при этом наблюдается скачкообразное увеличение кажущегося электрического сопротивления.

31





Необходимо отметить, что подобные последовательности слагают не только меандровые и русловые отмели в пределах аллювиальной равнины, но также могут встречаться в виде отложений флювиальных дельтовых рукавов, заполнения приливно-отливных каналов и структур размыва с последующим заполнением в зонах действия устойчивых морских течений. Соответственно для уточнения интерпретации необходимо опираться на данные изучения кернового материала и анализ латеральных и вертикальных последовательностей.

Пойменные литофациальные ассоциации представляют собой комплекс алеврито-глинистых слоев, иногда углей и углистых осадков в случае заболачивания местности. Кривая КС имеет «пилообразную» форму, значения ГК и НГК слабоповышенные, кривые сильно дифференцированы. Прослоям углистых аргиллитов и углей соответствуют резкие скачкообразные увеличения кажущегося электрического сопротивления и синхронные падения значений ГК и НГК (см. рис. 3). В тесной парагенетической связи с пойменными отложениями находятся русловые осадки. Схожие по составу геофизической характеристике отложения формируются на дельтовой и прибрежно-морской равнинах. В этом случае они будут пространственно сопряжены с другими дельтовыми литофациями и/или литофациями мелкого шельфа.

<u>Проградационные последовательности</u>. Постепенная проградация баровых систем и пляжей в сторону бассейна хорошо фиксируется в разрезе по возрастанию зернистости вверх. В соответствии с этим ведут себя и каротажные характеристики: значения естественной радиоактивности постепенно падают, в прикровельной части пласта происходит ее скачкообразное увеличение. Кривая НГК ведет себя зеркально диаграмме ГК. Кривые ПС формируют отрицательные аномалии с наклонной подошвенной и резкой или крутонаклонной кровельной границами (в случае отсутствия вторичной карбонатизации) (см. рис. 3).

Песчаные тела с подобной структурой формируют также дельтовые устьевые бары и фронт дельты. В этом случае они будут находиться между аллювиально-пойменными и мелководно-морскими отложениями.

Проградационные песчаные тела без признаков их морского происхождения и находящиеся внутри комплекса аллювиально-пойменных отложений рассматривались как микродельты в пределах крупных озер или остаточных заливов.

Отдельно стоит остановиться на специфических отложениях, которые обычно слагают верхнюю часть верхневасюганской подсвиты (пласт Ю<sub>1</sub><sup>1</sup>) и представлены песчаниками мелко-, реже среднезернистыми, с обильными и разнообразными остатками морской фауны. Эти песчаники очень часто интенсивно карбонатизированы, вплоть до образования известняков. Несмотря на небольшую мощность, они встречаются практически на всей территории распространения васюганской свиты и значительной части наунакской и татарской свит. Проградационная структура этих тел хорошо видна на диаграммах радиоактивного каротажа, кривая ПС находится на уровне «глин», КС может достигать 60–80 и даже 100–120 Ом·м, что вполне сопоставимо с углистыми аргиллитами и углями (рис. 4). Другими словами, если разреза можно отнести к межугольной толще с углистыми пойменными отложениями и сделать ошибочный вывод о значительном предгеоргиевском размыве.







Рис. 5. Палеогеографические схемы на время формирования нижней части верхнеоксфордского (а), нижнеоксфордского (б) и келловейского (в) комплексов Хабаров и др., 2009]. Фрагмент палеогеографической схемы на время формирования келловейских отложений (г). На каротажных диаграммах показан разрез келловейского комплекса. Условные обозначения: 1 – умеренно-глубокий шельф; 2 – средне-глубокий шельф; 3 – мелководная равнина; 4 – барьерные бары 6 – песчаные отмели на шельфе – остаточная система баров (толщина песчаников >15 м); 7 – приливно-отливные каналы; 8 – приливно-отливные микродельты; 9 – ракушняковые банки на отмелях; 10 – забаровый комплекс обстановок (лагун, приливных микродельт и пр.); 11 – приливная илистая равнина с мелкими каналами; 12 – дельтовый комплекс; 13 – русловые отложения аллювиального и дельтового комплекса; 14 – приустьевой бар; 15 – крупные 17 – аллювиальная пойменная равнина; 18 – пойменные озера и старицы; 19 – заболачивающиеся участки; 20 – остаточный морской залив; 21 – микродельты озер и заливов; 22 – устьевой бар (толщина песчаных и внутришельфовые отмели (толщина песчаников 5–10 м); 5 – песчаные отмели на шельфе – остаточная система баров (толщина песчаников 10–15 м); отложений 10–15 м); 23 – северо-западная граница распространения углей в кровле нижнеоксфордского комплекса; 24 – область отсутствия отложений русла (толщина песчаников >5 м); 16 – средние русла (толщина песчаников от 3 до 5 м);

На финальной стадии работы проводилось сопоставление всего массива полученных данных и для каждого выделенного комплекса с субизохронными границами строились палеогеографические схемы (рис. 5). Они послужили надежной верификацией для всех предварительных результатов: в процессе создания каждой из схем уточнялась как корреляционная часть построения, так и часть, касающаяся генетической интерпретации разрезов.

Таким образом, сделаны следующие выводы:

- Проведенный седиментологический анализ с выделением типов отложений и их разноранговых последовательностей позволил расчленить бат-верхнеюрские отложения на серию комплексов с субизохронными границами и проследить не только вертикальные, но и латеральные последовательности разноранговых генетически неоднородных осадочных тел.
- 2. По данными ГИС можно уверенно диагностировать лишь ограниченное количество вертикальных последовательностей, отражающих те или иные обстановки седиментации, при этом их интерпретация требует обязательного привлечения результатов исследования керна скважин и детального рассмотрения латеральных последовательностей в рамках выделенных одновозрастных комплексов.
- 3. Из данных ГИС наибольшую информативность показал радиоактивный каротаж, который более четко отражает изменения в составе литологических тел и хорошо фиксирует их границы. Кривые самопроизвольной поляризации не позволяют выделять карбонатизированные алеврито-песчаные пласты, имеют меньшую разрешающую способность при выделении маломощных тел. Кроме того, значения самопроизвольного потенциала сильно зависят от минерализации бурового раствора и типа флюидонасыщения пластов, что часто не принимается во внимание. Опираться только на электрометрические модели, которые в основном сводятся к характеристике формы кривой самопроизвольной поляризации, нужно очень осторожно.

Работа выполнена при поддержке проекта НИР IX.131.1.5 (0331–2016–0041), проектов РФФИ и Правительства Новосибирской области №18–45–540004 р\_а.

#### ЛИТЕРАТУРА

**Белозеров В.Б., Брылина Н.А., Даненберг Е.Е.** Фациальная диагностика по материалам ГИС континентальных и прибрежно-морских отложений юры юго-востока Западной Сибири // Проблемы геологии и нефтегазоносности верхнепалеозойских и мезозойских отложений Сибири. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 1984 – С. 11–23.

Белозеров В.Б., Даненберг Е.Е., Огарков А.М. Особенности строения васюганской свиты в связи с поиском залежей нефти и газа в ловушках неантиклинального типа // Перспективы нефтегазоносности юго-востока Западной Сибири: Труды СНИИГГиМС. Вып. 275. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 1980. – С. 92–100.

**Белозеров В.Б.** Условия формирования, закономерности размещения и перспективы поиска ловушек нефти и газа неантиклинального типа в отложениях юры Нюрольской впадины (Томская область).: автореферат дис. на соиск. учен. степ. канд. геол.-минерал. наук – Новосибирск, 1984. – 18 с.

**Белозеров В.Б., Брылина Н.А., Даненберг Е.Е.** К проблеме поисков литолого-стратиграфических ловушек в верхнеюрских отложениях юго-востока Западной Сибири // Теоретические и региональные проблемы геологии нефти и газа. – Новосибирск: Наука, 1991. – С. 171–180.

Казаненков В.А., Карпов И.А. Характеристика обстановок осадконакопления горизонта Ю₂ в разрезах скважин Широтного Приобья по материалам методов электрического и радиоактивного каротажа // Геология нефти и газа. – 2011. – № 5. – С. 133–139.

Конторович А.Э., Вакуленко Л.Г., Казаненков В.А., Скворцов М.Б., Ян П.А., Быков В.В., Попов А.Ю., Саенко Л.С. Седиментогенез коллекторов среднего-верхнего бата и их нефтеносность в Широтном Приобье // Геология и геофизика. – 2010. – Т. 51, № 2. – С. 187–200.

**Муромцев В.С.** Электрометрическая геология песчаных тел – литологических ловушек нефти и газа. – Л.: Недра, 1984. – 260 с.

**Решение** 6-го Межведомственного стратиграфического совещания по рассмотрению и принятию уточненных стратиграфических схем мезозойских отложений Западной Сибири, Новосибирск, 2003 г. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 2004. – 114 с.

Хабаров Е.М., Ян П.А., Вакуленко Л.Г., Попов А.Ю., Плисов С.Ф. Палеогеографические критерии распределения коллекторов в средне-верхнеюрских отложениях юга Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна // Геология нефти и газа. – 2009. – № 1. – С. 26–33.

Ян П.А., Вакуленко Л.Г., Костырева Е.А., Аухатов Я.Г., Бурлева О.В., Николенко О.Д. Литология и геохимия когалымской пачки нижневасюганского подгоризонта (верхний бат – низы нижнего оксфорда) Западной Сибири // Геология и геофизика. – 2017. – Т. 58, № 3–4. – С. 484–494.

**Чернова Л.С.** Генетические модели некоторых типов фаций прибрежно-морских и континентальных отложений // Литология и коллекторские свойства палеозойских и мезозойских отложений Сибири: Труды СНИИГГиМС. Вып. 232. – Новосибирск, 1976. – С. 93–97.

Busch D.A. Prospecting for stratigraphic traps // AAPG Bulletin. - 1959. - Vol. 43, No. 12. - P. 2829-2843.

**Busch D.A.** Stratigraphic traps in sandstones – exploration techniques // AAPG Memoir 21. – Tulsa, 1974. – 174 p.

**Conybeare C.E.B.** Geomorphology of oil and gas fields in sandstone bodies. – Amsterdam, Oxford, New-York: Elsevier, 1976. – 353 p.

Pirson S.J. Geologic well log analysis. - Houston: Gulf Publ. Co., 1970. - 370 p.

**Serra O., Sulpice L.** Sedimentological analysis of shale-sand series from well logs // SPWLA 16<sup>th</sup> Annual logging symp. – 1975. – P. W1–W23.

**Shelton J.W.** Correlation sections and log maps in determination of sandstone trends // AAPG Bulletin. – 1972. – Vol. 56, No. 8. – P. 1541–1544.

#### КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

*ЯН Петр Александрович* – кандидат геолого-минералогических наук, доцент, заведующий лабораторией седиментологии Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН. Основные научные интересы: седиментология, литология, мезозойские осадочные бассейны Сибири.

*ХАБАРОВ Евгений Максимович* – кандидат геолого-минералогических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории седиментологии Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН. Основные научные интересы: седиментология, изотопная геохимия мезонеопротерозоя и фанерозоя Сибири.

# 

*Геофизические технологии*, № 4, 2018, с. 39–49 doi: 10.18303/2619–1563–2018–4–5 www.rjgt.ru УДК 550.379

## ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОБЕРЕЖЬЯ ОСТРОВА САМОЙЛОВСКИЙ (ДЕЛЬТА РЕКИ ЛЕНА)

В.В. Оленченко<sup>1,3</sup>, А.А. Картозия<sup>2,3</sup>, Л.В. Цибизов<sup>1,3</sup>, П.С. Осипова<sup>1,3</sup>, Е.И. Есин<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, 630090, Новосибирск, просп. Акад. Коптюга, 3, Россия, <sup>2</sup>Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, 630090, Новосибирск, просп. Акад. Коптюга, 3, Россия, <sup>3</sup>Новосибирский государственный университет, 630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 1, Россия,

#### e-mail: olenchenkovv@yandex.ru

На побережье острова Самойловский проведены геофизические исследования методами электротомографии и георадиолокации. Результаты сопоставлены с геологическим описанием обнажений. Показано, что на геоэлектрическом разрезе по результатам 2-D инверсии выделяется контакт разновозрастных отложений. Оценено строение подруслового талика в прибрежной зоне, локализованы ледовые жилы различной ширины. Полученные результаты полезны для геокриологических исследований в данном районе, поскольку изученные объекты типичны для дельты р. Лены.

Многолетнемерзлые породы, электротомография, георадиолокация

#### GEOELECTRICAL CHARACTERISTICS OF SAMOYLOV ISLAND COASTLINE (LENA RIVER DELTA)

#### V.V. Olenchenko<sup>1</sup>, A.A. Kartoziya<sup>2</sup>, L.V. Tsibizov<sup>1</sup>, P.S. Osipova<sup>1</sup>, E.I. Esin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Koptug Avenue, 3, Novosibirsk, 630090, Russia, <sup>2</sup>Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Koptug Avenue, 3, Novosibirsk, 630090, Russia, <sup>3</sup>Novosibirsk State University, Pirogova str., 1, Novosibirsk, 630090, Russia, e-mail: olenchenkovv@yandex.ru

Permafrost structure of Samoylov island coastline was determined with geological and geophysical methods. Geoelectrical model based on electrical resistivity tomography and ground penetrating radar data was compared with geological observations. Structure of contact between different types of frozen deposits was determined, influence of river water on permafrost (talik borders were determined) was estimated, ice wedges of different thickness were localized. Results of the study could be useful in permafrost research in the region because studied objects are typical in Lena delta.

Permafrost, electrical resistivity tomography, ground penetrating radar

#### INTRODUCTION

Samoylov Island in Lena river delta is a key area of permafrost research - a number of studies are conducted here during last 20 years by Russian-German expedition «Lena Delta» [Boike et al., 2013]. Samoylov Island consists of 3 geomorphologic surfaces: 1) 1st terrace (max elevation - 8.5 m a.r.l.); 2) high floodplain (max elevation – 7.5 m a.r.l.); 3) low floodplain (max elevation – 6.5 m a.r.l.). These surfaces vary in sedimentary units, ground ice type, landform morphology properties and they are typical for the essential part of Lena delta [Bolshiyanov et al., 2015]. All these three types of deposits are well exposed in outcrop on the southern coast of the island. Beyond that this coast is under the intensive influence of thermal and mechanical erosion originated by the river water and ice. This work is dedicated to geological and geophysical studies of the most representative part of island deposits - the contact between the terrace (which includes ice wedges) and the floodplains in the nearby of water. Geophysical methods are widely applied in permafrost research [Hauck et al., 2008]. Development of geophysical techniques in this field are analyzed in the paper [Kneisel et al., 2008]. It is shown that such problems like sectional layering, estimation of ice and unfrozen water content, status monitoring of permafrost can be effectively solved with electrical resistivity tomography. Internal structure of permafrost and spatial extension of layers can be determined rather with ground penetrating radar. We have used both these methods to characterize permafrost structure of Samoylov island coastline. Following questions are raised within this study:

1. Is the geoelectrical structure of the contact between floodplains and first terrace corresponds the geological data?

2. How deep is the area of water influence on permafrost?

3. Could ice wedges be localized with ERT of GPR in present conditions?

In order to answer these questions geological description of the outcrop on the coast was done and two profiles were implemented with ERT (AB' and CD) and GPR (AB) (Fig.1).



Fig. 1. Map of the study area: ERT (AB, AB' and CD) and GPR (AB) profiles are marked with red dotted line 40

#### **METHODS**

A revealing of geological bodies based on field deposit descriptions and observations from the outcrop, which is exposed by river erosion.

Electrical resistivity tomography (ERT): SibER-48 equipment with 48 electrodes.

2-dimensional inversion of the obtained data was done with RES2DINV Software.

The longer profile (AB and AB' in the Figure 1) was done with 1 m (AB) and 2.5 m (AB') step between the electrodes. Another profile which crosses the coast (CD in the Fig. 1) was done with 5 m step between the electrodes. All ERT surveys were conducted with Schlumberger and dipole-dipole arrays and then the data was processed both independently and jointly.

Ground penetrating radar OKO-2 with 150 MHz antenna was used on the AB profile. Distance between counts was 2 cm (counting wheel – motion sensor "DP–32" was used for this goal).

#### **RESULTS AND DISCUSSIONS. GEOLOGY**

Sediments of the 1st terrace and low floodplain can be seen in an outcrop situated in the south coast of the Samoylov Island (coordinates 72.36835° N; 126.47307° E). The section in this outcrop is our main object of investigation. The outcrop extends for 60 m in the west to east direction and is 11 m high for the 1st terrace and 8 m high for the floodplain.



Fig. 2. Outcrop on the coast of Samoylov island: 1st terrace is covered by sandy floodplain deposits; ice wedge penetrates the 1st terrace deposits and thin sandy layer (in the middle part of the section)

The sequence includes 3 sediment units. Unit 1 belongs to the 1st terrace and Units 2.1 and 2.2 represent the floodplain sediments. Notable that Unit 2.2 overlaps both the floodplain sediments (Unit 2.1) and the terrace sediments (Unit 1). The relationship of sediments is shown in Fig. 2 and their structure is described below (bottom to top).



Fig. 3. Geological scheme of Samoylov Island coastline structure

*Unit 1.* Alternation of thin, 1–3 cm, parallel planar and wavy brownish-gray silty and sandy layers and dark-brown peat layers. A coarsely laminated 20 cm thick layer of grey medium-size sand with rare plant remnants occurs in the lower part of the unit. We can consider it as a marking level as it was found in many other 1st terrace coast outcrops of the Samoylov Island. Several syngeneic ice wedges complicate this unit. There are 4 ice wedges which have following dimensions: width 0.8–1.6 m, height above talus 4.5 m. These ice wedges are expressed at the island relief as polygonal network patterns. Furthermore, in unit 1 lenses of segregated ice 1–2 cm thick and pore ice occur.

*Unit 2.1.* Medium size sand: thickly parallel, curved, cross-bedded, of light gray color with intercalations of gray sandy silt. Thin 1 cm beds of dark gray sandy silt with plant remnants mark boundaries between layers. A very thin cross-lamination of 2-nd and 3-rd order with wavemarks is observed in layers. A unit bottom contact is erosional and cuts out the underlying Unit 1. Ice wedges and segregated ice are absent in this unit. Unit 2.1 consists of typical lateral accretion fluvial deposits.

*Unit 2.2.* Parallel planar thickly laminated light gray medium size sand with intercalations of grey sandy silt. A bottom transition with Unit 1 is very clear, but a bottom transition with Unit 2.1 is unclear. In general, Unit 2.2 reaches its maximum thickness (about 1.5 m) in the investigated outcrop and wedges-out further to the east. Additionally, cracks were observed above each ice wedge of Unit 1. Since these deposits overlap both the 42

floodplain sediments (Unit 2.1) and the terrace sediments (Unit 1), as well as comprise parallel thickly laminated sands and silts, we infer that deposits formed during floods by vertical accretion.



#### GEOPHYSICS

ERT along AB' profile (Fig.1) yields following section (Fig. 4).

**Fig. 4.** Profile AB' - 2.5 m between the electrodes: results of inversion for Schlumberger (a) and dipole-dipole (b) arrays and joint inversion (c): 1 – active layer; 2 – frozen sand; 3 – organic-mineral deposits; 4 – anomaly of low resistivity (influence of the river); 5 – anomaly of low resistivity above ice wedges

Data obtained with Schlumberger array (Fig. 4a) yields generalized pattern of the geoelectrical structure. Upper layer of low-resistivity with the depth of up to 2 m corresponds the active layer. Organic-mineral deposits in the upper part of the section (90–170 m) has very high resistivity (more than 100 kOhm·m) due to high ice content and low unfrozen water content in permafrost [Boike et al., 2013]. Relatively low resistivity in the left part (20–100 kOhm·m) could be explained by higher unfrozen water content and less ice content in sand. Starting from the depth of 10 m decrease of resistivity is observed. It is presumably reasoned by the water influence – coast is at 20 m off the profile.

Section obtained with dipole-dipole array is more varied (Fig. 4b). Local low-resistivity anomalies are observed within the active layer. These anomalies relate to high humidity in active layer above ice wedges (for example – 127 m on the profile).

Section obtained with joint inversion (Fig. 4c) shows both local anomalies in active layer and different resistivity of left (sandy floodplain deposits) and right (organic-mineral 1st terrace deposits) parts of the section. Influence of water is observable as the false low-resistivity layer in the lower part of the section.

Ice wedges were not localized with this survey – probably because of the distance between the electrodes is bigger than the thickness of ice wedges. Therefore, more detailed ERT was done along the same profile (Fig. 5).



**Fig. 5.** Profile AB - 1 m between the electrodes: results of inversion for Schlumberger (a) and dipole-dipole (b) arrays and joint inversion (c): 1 – active layer; 2 – frozen sand; 3 – organic-mineral deposits; 4 – anomaly of low resistivity above ice wedges; 5 – anomaly of low resistivity (influence of the river)

The same pattern could be seen from Schlumberger array data (Fig. 5a) as it was in the long profile (above mentioned): left and right parts of the profile correspond to the flood plain and the first terrace. Active layer thickness is determined quite well – it is not more than 1.5 m along the whole study profile. Dipole-dipole array (Fig. 5b) yields irregular boundary of the active layer which could be linked to nonuniform thawing above ice wedges and between their locations. The dividing area in the central part is shown more detailed – it is presented by a steep contact, which could be explained by the difference in lithological and ice content. Within the right part the permafrost looks consolidated because the deposits were not penetrated by the current. Therefore, we cannot determine their structure reliably. Ice wedges which are seen in the outcrop in the right part are not visible in the ERT section on the high-resistivity background. Joint inversion section (Fig. 5c) shows low-resistivity area in the lower part of the section – probably the water influence from the side. Local anomalies in the left part could relate to high ice content – probably related to a young ice wedges forming in the flood plain deposits.

In order to estimate an area of water influence on the coast and underwater part of the island CD profile transverse to AB (Fig. 1) was conducted (Fig. 6).



**Fig. 6.** Profile CD - 2.5 m between the electrodes: results of inversion for Schlumberger (a) and dipole-dipole (b) arrays and joint inversion (c): 1 – water; 2 – thawed rock (talik); 3 – permafrost; 4 – active layer; 5 – talik under the channel of a temporary watercourse

Geoelectrical section from Schlumberger array (Fig. 6a) shows main features of the coast structure: the active layer and underwater talik. Data from dipole-dipole array (Fig. 6b) has more details: the border between thawed and frozen deposits is quite distinct, local vertical high-resistivity anomalies within the active layer probably presumably relate to ice wedges. Right part of the profile (220–230 m) comes to a small lake (Fig. 1) which originates the low-resistivity anomaly in this area due to its temperature influence on surrounding permafrost. Joint inversion (Fig. 6c) shows the same picture but quite differs from dipole-dipole data in resistivity because of their high values (more than 50 kOhm·m) and respectively high uncertainty. Talik smoothly descends and reaches about 10 m at 50 meters from the coastline. Steep talik slope is typical in the case of permafrost under flowing water [Romanovskiy, 1972; Fotiev, 1978]. Presumably, the talik slope here is forming gradually simultaneously with coast erosion therefore it had no time to become steep.

GPR section along AB' profile is provided in the Fig. 7. GPR results yielded quite representative data.



Fig. 7. Ground penetrating radar data along the AB' profile (Fig. 1)

The depth was calculated from the time section accepting the average electrical permittivity value of 6. Ice wedges reveal quite distinctively in the radargram as a diffraction on their upper boundaries (this question was considered in details by [Bricheva, 2014]) and simultaneously damping of the signal in the interior of the thick ice wedges in the right part. Thin ice wedges in the left part yield only the diffraction suggesting that their width in the upper part does not exceeds the size of the first Fresnel zone. It is in agreement with the genesis of these parts – the younger left (with still forming thin ice wedges there) and older right one (with more thick ice wedges).

In the Fig. 8 the fragment of the radargram in the interval of 60 to 120 m is shown. On the depth about 1.5 m a high amplitude reflection boundary is seen. It relates to the active layer bottom (1 on the Fig. 8). Partly ringing interfering wave is observable in the upper part of the section. Beyond that the quite thin sand layer which is seen in the outcrop (Fig. 2) is also detected as a reflected wave (3 in the Fig. 8).



**Fig. 8.** A fragment of the radargram: 1 - waves: A - reflection wave originated by the active layer bottom, B - partly ringing interfering wave, C - reflection wave originated by the sand layer; 2 - ice wedges; 3 - numbers of the ice wedges; photo of the ice wedge II is provided in Fig. 2

ERT and GPR data are provided together in Fig. 9. Resistivity is relatively low within the left part of the profile (0–90 m) which corresponds to young sandy sediments. Diffraction hyperbolas caused by small ice wedges are observed there. Ice wedges are bigger in the right part (90–140 m) where sediments are older. Thus these organic-mineral sediments could be characterized by high ice content and contain thick ice wedges.



Fig. 9. Profile AB - comparison of ERT and GPR data: ice wedges are marked with black polygons

#### CONCLUSION

Geological and joint geophysical studies presented by electrical resistivity tomography and ground penetrating radar were done in permafrost of Samoylov island coastline. Both methods seem useful in provided conditions. In spite of quite complex structure of the object – contact between two different parts of frozen sediments, water influence, talik and ice wedges, geoelectrical structure was obtained and is in a good agreement with geological data. Nevertheless, some features and details, which are hidden from geological study, were registered with geophysics (ice wedges, form of talik).

Considering the questions which were raised in the introduction:

1. Is the geoelectrical structure of the contact between floodplains and first terrace corresponds the geological data?

Both ERT and GPR data generally corresponds to geological data. Main elements of geological structure (Fig. 3) are determined with geophysical survey. Contact of the floodplain and the first terrace is quite steep in electrical resistivity section contrary to geological scheme.

2. How deep is the area of water influence on permafrost?

Sligthly sloping talik was registered with ERT survey (Fig. 6). It smoothly descends and reaches about 10 m at 50 meters from the coastline. It could be explained by simultaneous talik propagating and coast erosion therefore it had no time to become steep.

3. Could ice wedges be localized with ERT of GPR in present conditions?

Ice wedges cause no representative anomalies in electrical resistivity section obtained with ERT, but they can be confidently registered with GPR due to diffraction on their upper boundaries and damping of the signal in the interior of thick ice wedges.

#### ACKNOWLEDGEMENTS

Research is funded by Project IX.128.3.3 of FSR SB RAS program IX.128.3; Project II.61 of Complex SB RAS program «Interdisciplinary integrative researches».

#### REFERENCES

Boike J., Kattenstroth B., Abramova K., Bornemann N., Chetverova A., Fedorova I., Frob K., Grigoriev M., Gruber M., Kutzbach L., Langer M., Minke M., Muster S., Piel K., Pfeiffer E.M., Stoof G., Westermann S., Wischnewski K., Wille C., Hubberten H.W. Baseline characteristics of climate, permafrost and land cover from new permafrost observatory in the Lena River Delta, Siberia (1998–2011) // Biogeosciences. – 2013. – Vol. 10, No. 3. – P. 2105–2128.

**Bricheva S.S.** Experience of application of ground-penetrating radar for shallow studies of permafrost // 10th EAGE scientific and practical conference and exhibition on engineering geophysics–2014: Extended abstracts. – Gelendzhik, 2014. – 4 p. [in Russian].

Fedorova I., Chetverova A., Bolshiyanov D., Makarov A., Boike J., Heim B., Morgenstern A., Overduin P. P., Wegner C., Kashina V., Eulenburg A., Dobrotina E., Sidorina I. Lena Delta hydrology and geochemistry: long-term hydrological data and recent field observations // Biogeosciences. – 2015. – Vol. 12, No. 2. – P. 345– 363.

Fotiev S.M. Hydrogeotermal features of cryogenic area of USSR. – M.: Nauka, 1978. – 236 p. [in Russian].

**Hauck C., Kneise C.** Applied geophysics in periglacial environments. – Cambridge: Cambridge University Press. – 2008. – 240 p.

**Kneisel C., Hauck C., Fortier R., Moorman B.** Advances in geophysical methods for permafrost investigations // Permafrost and periglacial processes. – 2008. – Vol. 19, No. 2. – P. 157–178.

**Romanovskiy N.N.** Taliks in permafrost area and scheme of their classification // MSU Vestnik. Ser. Geology. – 1972. – Vol. 1. – P. 23–34 [in Russian].

#### КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

ОЛЕНЧЕНКО Владимир Владимирович – кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией геоэлектрики Института нефтегазовой геологии и геофизики А.А. Трофимука СО РАН, доцент кафедры геофизики НГУ. Основные научные интересы: применение электроразведочных методов для решения рудопоисковых, инженерно-геологических, геокриологических задач.

48

*КАРТОЗИЯ Андрей Акакиевич* – младший научный сотрудник Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, аспирант НГУ. Основные научные интересы: четвертичная геология, геоморфология, осадочная геология, дистанционное зондирование, геокриология.

ЦИБИЗОВ Леонид Валерьевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, ассистент кафедры геофизики НГУ. Основные научные интересы: численное моделирование геофизических полей, магнитометрия.

*ОСИПОВА Полина Сергеевна* – инженер Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, магистрант НГУ. Основные научные интересы: электротомография горных пород при геоэкологических исследованиях, инженерных изысканиях, поисках и разведке месторождений.

*ЕСИН Егор Игоревич* – лаборант Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, студент НГУ. Основные научные интересы: решение обратных задач геофизики численными методами.

# 

Геофизические технологии, № 4, 2018, с. 50

www.rjgt.ru

#### АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ К СПИСКУ МАТЕРИАЛОВ, ОПУБЛИКОВАННЫХ В ЖУРНАЛЕ В 2018 г.

Аюнов Д.Е., 2, 27 Аюнова Д.В., 4, 10 Гапеев Д.В., 1, 15 Глинских В.Н., 3, 30 Губин И.А., 3, 14, Гуреев В.Н., 1, 3 Гусева С.М., 4, 10 **Д**робчик А.Н., 2, 41 Дугаров Г.А., 2, 14; 2, 41 Дучков А.А., 2, 41 Дучков А.Д., 2, 27; 2, 41; 3, 39 Дучкова А.А., 3, 4 Дядьков П.Г., 3, 4; 4, 4 Есин Е.И., 4, 39 Железняк М.Н., 2, 27 Казанцев С.А., 3, 39 Калинин А.Ю., 4, 10 Калинина Л.М., 4, 10 Канаков М.С., 4, 10 Картозия А.А., 4, 39 Козлова М.П., 3, 4 Конторович В.А., 4, 10 Кострыгин Ю.П., 1, 39 Купер К.Э., 2, 41 Кучай О.А., 4, 4 Лыхин П.А., 2, 14 Мазов Н.В. 1, 3 Максимов М.А., 3, 30 Манаков А.Ю., 2, 41 Машинский Э.И., 1, 25 Нефедкина Т.В., 2, 14 Оленченко В.В., 4, 39 Осипова П.С., 4, 39

Потапов А.А., 1, 15 Романенко Ю.М., 3, 4 Сердюков А.С., 3, 48 Соколова Л.С., 2, 27 Соловьев М.В., 4, 10 Султангалеев Р.Р., 1, 51 Сурикова Е.С., 4, 10 Суродина И.В., 3, 30 Таратенко А.В., 3, 14 Торопова Т.Н., 4, 10 Троян В.Н., 1, 51 Фокин М.И., 2, 41 Хабаров Е.М., 4, 27 Хасан Р.Е., 1, 39 Хемраев К.А., 2, 4 Цибизов Л.В., 3, 4; 4, 39 Яблоков А.В., 3, 48 Ян П.А., 4, 27