

# СЕЙСМОРАЗВЕДКА В СИБИРИ И ЗА ЕЁ ПРЕДЕЛАМИ

МАТЕРИАЛЫ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

14–17 ноября 2023 г.



Красноярск  
2024

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Сибирский федеральный университет

## **СЕЙСМОРАЗВЕДКА В СИБИРИ И ЗА ЕЁ ПРЕДЕЛАМИ**

Материалы научно-практической конференции

Красноярск, 14–17 ноября 2023 г.

*Электронное издание*

Красноярск  
СФУ  
2024

УДК 550.834(571.1/.5)  
ББК 26(253)  
С288

Ответственные за выпуск: Никитина Елена Викторовна  
Епифанцева Наталья Сергеевна

**С288 Сейсморазведка в Сибири и за её пределами** : материалы науч.-  
практ. конф. Красноярск, 14–17 ноября 2023 г. [Электронный ресурс] /  
отв. за вып. Е. В. Никитина, Н. С. Епифанцева. – Электрон. дан.  
(19,6 Мб). – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2024. – 176 с. – Систем.  
требования : PC не ниже класса Pentium I ; 128 Mb RAM ; Windows  
98/XP/7/8/10 ; Adobe Reader V8.0 и выше. – Загл. с экрана.  
ISBN 978-5-7638-4925-7

Представлены результаты научной работы по применению современных методик обработки и интерпретации данных сейсморазведки, разработке новых алгоритмов, а также использованию Data Science в сейсморазведке.

Предназначены для профильных специалистов, сотрудников научно-исследовательских и проектных организаций, представителей нефтегазовых компаний и учреждений РАН.

Электронный вариант издания  
см.: <http://catalog.sfu-kras.ru>

УДК 550.834(571.1/.5)  
ББК 26(253)

ISBN 978-5-7638-4925-7

© Сибирский федеральный  
университет, 2024

*Электронное научное издание*

Корректор *Л. В. Боос*  
Компьютерная вёрстка *Е. А. Сафиной*

Подписано в свет 01.03.2024. Заказ № 20741  
Тиражируется на машиночитаемых носителях

Библиотечно-издательский комплекс  
Сибирского федерального университета  
660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 82а  
Тел.: (391) 206-26-16; <http://bik.sfu-kras.ru>  
E-mail: [publishing\\_house@sfu-kras.ru](mailto:publishing_house@sfu-kras.ru)



## ► Новый подход к структурной интерпретации в ПО W-SEIS: просто, быстро, качественно

В. В. Лапковский<sup>1</sup>, М. С. Канаков<sup>2</sup>, В. А. Конторович<sup>3</sup>,  
К. И. Канакова<sup>4</sup>, А. Н. Иноземцев<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup> Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН,  
НГУ, Aspen Technology, Inc. (AspenTech)

<sup>1</sup> lapkovskii@ipgg.sbras.ru, <sup>2</sup> m.kanakov@nsu.ru, <sup>3</sup> kontorovichva@ipgg.sbras.ru,

<sup>4</sup> kanakovaki@ipgg.sbras.ru, <sup>5</sup> Alexander.Inozemtsev@aspentech.com

На рынке программного обеспечения (ПО) для нефтегазовой отрасли представлен ряд продуктов для работы с сейсмическими и скважинными данными, каждый из которых имеет свою специфику, сильные и слабые стороны. Некоторые являются узкоспециализированными, ориентированными на работу с месторождениями на этапе доразведки и эксплуатации, другие охватывают весь комплекс геолого-разведочных задач, но зачастую требуют длительного обучения (ознакомления) и больших технических мощностей. Кроме того, лидерами рынка являются исключительно зарубежные продукты, а в сложившейся геополитической ситуации остро стоит вопрос о создании и использовании импортонезависимых российских технологий.

ИНГГ СО РАН совместно с НОЦ ГПН НГУ ведёт разработку программного комплекса *W-SEIS*, который предназначен для интерпретации сейсмических и скважинных данных и построения геологических моделей на всех этапах ГРП. Комплекс уже полномасштабно используется для научных и договорных работ ИНГГ СО РАН, а также для проведения учебных курсов по интерпретации сейсморазведки и геофизических исследований скважин (ГИС) на геолого-геофизическом факультете НГУ и при подготовке бакалаврских работ, магистерских и кандидатских диссертаций.

*W-SEIS* представляет собой набор взаимосвязанных приложений, каждое из которых может использоваться как самостоятельный программный продукт. Включает три основных модуля: первый – *Desmana* – предназначен для работы с сейсмическими данными; второй – *GISWell* – служит для интерпретации и представления данных геофизических исследований скважин (ГИС); за моделирование волновых полей отвечает приложение *Mink*. Несмотря на то, что каждый модуль может функционировать самостоятельно, максимальное удобство работы обеспечивает их совместное применение за счёт интеграции функционала и простоты передачи данных между ними путём использования совместных баз данных.

Проект полностью написан на языке программирования C++, что в числе прочего обеспечивает очень низкие аппаратные системные требования. Кроме того, в работе ПО используются все возможности современного компьютерного оборудования – например, многопоточность



процессоров и применение видеоадаптеров в качестве сопроцессора для массивных вычислений.

Выбор в качестве основы фреймворка *Qt* обеспечивает работу программного комплекса на всех видах операционных систем – *Windows / Mac OS / Linux* (включая ОС российского производства). Использование *SQLite* и *MySQL / PostgreSQL* в качестве СУБД (системы управления базами данных) позволяет легко масштабировать размеры интерпретационных проектов и в перспективе позволит достаточно просто добавить возможность совместной работы пользователей с одним проектом.

**Описание основного функционала ПО.** Главные задачи, решаемые с помощью модуля *Desmana*, – интерпретация данных сейсморазведки *2D*, *3D* и построение сеточных моделей. В приложении используется независимый многооконный пользовательский интерфейс, который состоит из основного окна программы, планшета для отображения данных в плане и неограниченного количества окон для вывода разрезов (временных, глубинных, композитных, палеоразрезов).

Интерфейс работы с окнами разрезов позволяет настраивать параметры отображения – например, выбирать и редактировать шаблоны цветных палеток. На разрезах имеется набор инструментов для работы с отражающими горизонтами, которые позволяют выполнять их трассировку в различных режимах. Возможность оформления разрезов с помощью цветowych заливок и крапа реализована в самом приложении, что помогает повысить наглядность представления данных и даже придать им геологичный вид, а вместе с функцией экспорта в *SVG* (векторный графический формат) позволяет значительно сэкономить время на подготовку графики (рис. 1).

Вся спецобработка (фильтры) сейсмических данных реализована через открытый *API* (программный интерфейс приложения), что позволяет быстро создавать всевозможные процедуры в дополнение к существующим в пакете. В приложении представлены все стандартные операции обработки (например, Гильберт- и Фурье-преобразования), а также другие наиболее часто используемые в работе интерпретатора фильтры сейсмических данных. Все операции можно выполнять в пакетном режиме, обрабатывая разрезы целиком, или задавать временной интервал, в т. ч. с помощью горизонтов. Также можно обрабатывать области на профилях, выделяя их вручную с помощью графического интерфейса.

В приложение встроен модуль картопостроения, который позволяет осуществлять построения сеточных моделей, в т. ч. с учётом разрывных нарушений. Существует возможность построения сеточных моделей на основе методов кригинга, сплайн-аппроксимации и использования регрессионных зависимостей от других сеток, скважинных данных и их комбинаций. Также в ПО *W-SEIS* интегрирован модуль акустической детерминистической инверсии, основанной на модели (*МВИ*).

Пример вычисленных сейсмических атрибутов показан на рис. 2.

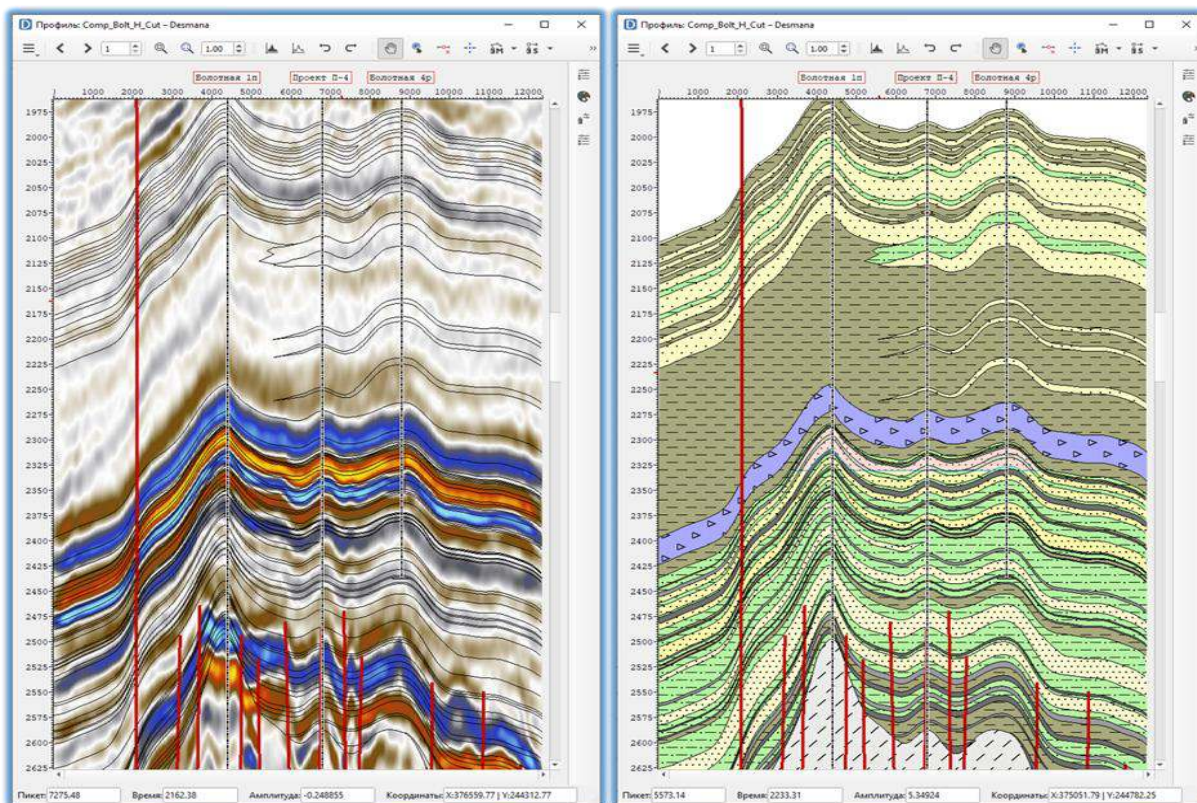
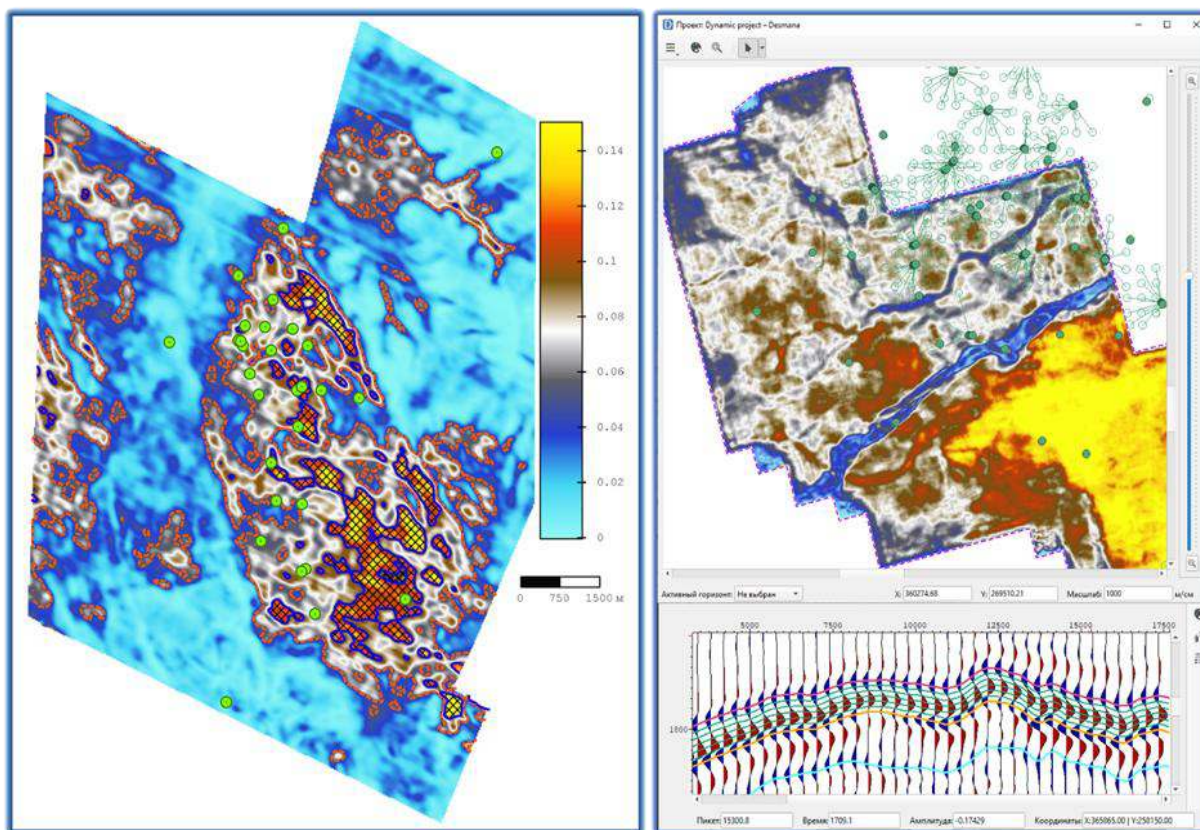


Рис. 1. Пример оформления сейсмического разреза



а  
б  
Рис. 2. Примеры сейсмических атрибутов:

а – карта спектральной плотности сигнала; б – карта мгновенных амплитуд



Модуль *GISWell* служит для работы со скважинными данными, которые могут быть пакетно загружены в проект. Основной задачей приложения является корреляция разрезов скважин, при которой вся работа интерпретатора может проводиться на корреляционных схемах, без необходимости перехода к планшету отдельной скважины. Порядок скважин на схемах можно задавать вручную или выстраивать по изменению мощности выбранного интервала / по расположению их на площади (координаты  $X, Y$ ), задавать интервалы отображения по глубине и выравнивать данные на любой стратиграфический уровень. Вариативность отображения кривых ГИС реализована через пользовательский набор шаблонов, который включает в себя не только цвет и закраску каротажа, но и распределение кривых по контейнерам (трекам). Этот инструмент позволяет пользователю приводить корреляционные схемы и изображения скважин к привычному для себя виду. На корреляционных схемах можно вывести данные по испытаниям и включить отображение интервалов отбора керна с текстовым описанием.

В приложение встроен модуль прогноза значений, который базируется на обучении в скважинах с полным набором данных и аппроксимации значений в местах отсутствия некоторых из них. Также реализована технология автоматической межскважинной корреляции на основе решения задачи оптимизации в *Dynamic Time Warping* [1].

Модуль *Mink* отвечает за моделирование волновых полей. Приложение позволяет строить литолого-акустические попластовые модели по скважинным данным или с помощью графического интерфейса создавать теоретические модели. В качестве сигнала можно использовать импульс, извлечённый из реального волнового поля, или подобрать параметры для теоретических сигналов. В приложении доступен простой свёрточный метод коэффициентов отражения, свёрточный метод с учётом кратных волн, а также расчёт полного волнового поля конечно-разностным методом в переменных Лагранжа [2] для 2D- и 3D-моделей.

Программное обеспечение *W-SEIS* реализует несколько оригинальных и эффективных алгоритмов интерпретации данных. Одним из таких решений является модуль построения наборов карт на основе согласованной многомерной модели среды. Он позволяет строить карты поверхностей слоёв, их толщин, карты средних и интервальных скоростей. В его основе лежит метод потенциальных полей [3; 4]. Суть подхода заключается в приписывании каждой изохронной геологической поверхности некоторого неизменного значения трёхмерного поля. Набор этих значений стратиграфически упорядочен. Данные обо всех пластопересечениях можно представить в качестве заданных точечных значений функции трёх переменных. Далее путём аппроксимации создаётся представление этой функции во всей области, а границы стратиграфических тел вычисляются как изоуровневые поверхности этой трёхмерной функции. Существенным достоинством метода является то, что все границы совместно учитываются



при создании модели. Это обеспечивает непротиворечивость всей конструкции (слои не могут пересекаться) и обоснованность модели даже для тех геологических поверхностей, которые заданы относительно небольшим числом прямых измерений. Мы добавили в стандартную реализацию данного метода использование стратиграфически привязанных карт  $t_0$  для любого количества отражающих горизонтов. Таким образом, согласованная модель строится для пространства с тремя пространственными координатами, значением стратиграфического параметра и значением  $t_0$ , которое вычисляется для любой точки.

Разработанное решение обладает тремя важными положительными особенностями.

1. Оно просто для интерпретатора, вся подготовительная работа делается буквально несколькими кликами. Перед созданием модели требуется только задать координаты всех пластопересечений, а перед вычислением модели – загрузить набор карт  $t_0$ .

2. Это быстрая процедура. В настоящей предварительной реализации (без использования распараллеливания и оптимизации) для более чем 2 200 пластопересечений на тестовом примере расчёт модели требует менее 30 с на ноутбуке со средней производительностью, а вычисление результирующих поверхностей занимает 1–3 с в зависимости от размеров генерируемых сеток.

3. Мы получаем качественные и согласованные результаты.

Подтверждением последнего являются следующие факты:

- можно сгенерировать любую из заданных пластопересечениями границ, а также любые поверхности между ними;
- структура аномалий на результирующих картах наследуется из загруженных карт отражающих горизонтов (рис. 3);
- поверхности могут сколь угодно близко проходить к заданным точкам (буквально можно подтянуть модель к пластопересечениям с точностью до первых миллиметров);
- генерируемые поверхности близких уровней не пересекаются – соответственно, нет необходимости специально контролировать их согласованность; также с загруженными картами  $t_0$ , генерируемыми структурными картами и картами толщин полностью согласуются рассчитываемые в решении и выводимые карты средних скоростей и интервальных скоростей продольных волн;
- можно создавать геологические разрезы и срезы по уровням (рис. 4);
- допустимо существование разломов (они должны присутствовать на картах отражающих горизонтов);
- аппарат имеет встроенную модель кросс-валидации – сравнение полученных результатов методом кросс-валидации, например, с линейными регрессионными моделями показало на тестовых объектах кратное снижение погрешности по сравнению с конкурирующими решениями.



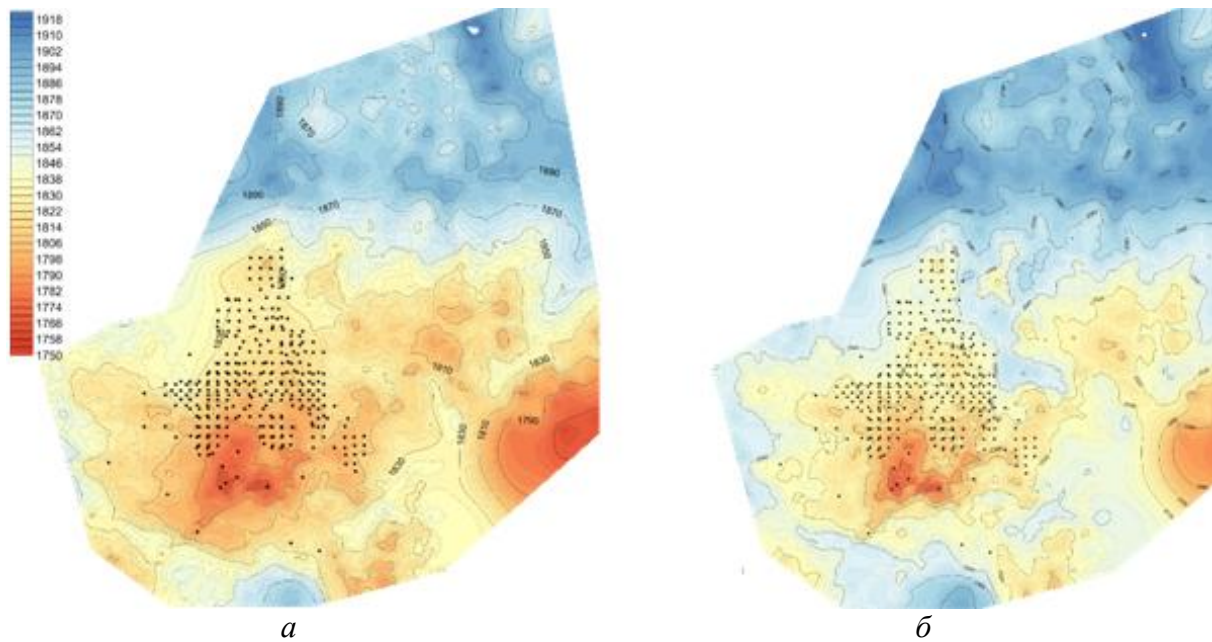


Рис. 3. Пример наследования структуры аномалий с карты отражающего горизонта:  
 а – карта отражающего горизонта, загруженная в качестве данных;  
 б – созданная структурная карта

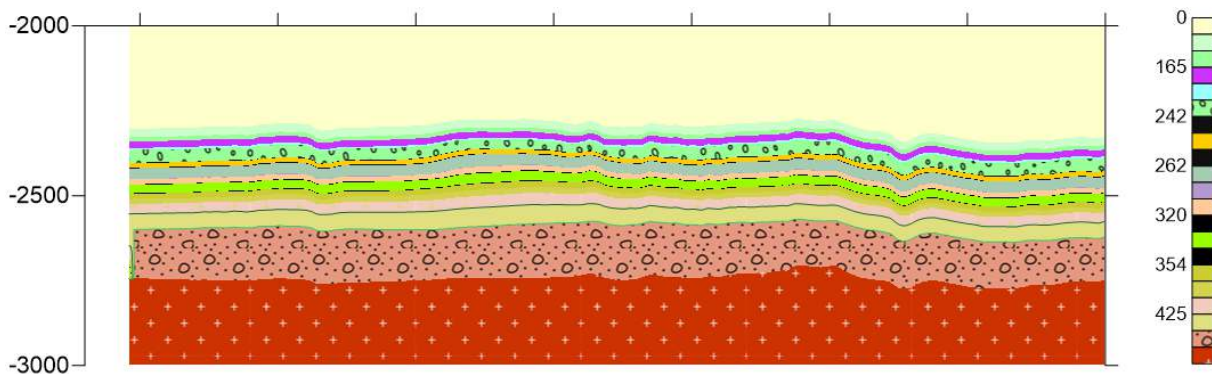


Рис. 4. Пример геологического разреза, построенного по сгенерированному из модели набору структурных карт

**Заключение.** Программное обеспечение *W-SEIS* разрабатывается с целью создания единого комплексного технологического решения для задач геолого-разведочных работ, связанных с интерпретацией сейсмических и скважинных данных, и призвано решить проблему создания большого количества рабочих мест с эффективным, недорогим, импорто-независимым инструментом.

Основными преимуществами и особенностями продукта являются:

- низкие системные требования для компьютерного оборудования и высочайшая производительность в повседневных задачах интерпретатора;
- кроссплатформенность приложений, позволяющая использовать любые операционные системы, включая отечественные;
- поддержка широкого спектра форматов данных, используемых в индустрии;



- двунаправленный перенос интерпретационных проектов между ПО *W-SEIS* и *Schlumberger Petrel* посредством авторского плагина;
- возможность на стадии разработки адаптировать ПО под собственные задачи и произвести интеграцию с уже используемыми программными продуктами (например, поддержка собственных форматов или работа приложения с имеющимися базами данных);
- экономический эффект от снижения затрат на ПО и компьютерное оборудование.

Разработка комплекса продолжается, наиболее актуальные задачи на настоящий момент:

- 1) добавление модуля 3D-визуализации;
- 2) завершение работ по созданию инструмента сейсмической инверсии;
- 3) реализация возможности одновременного совместного использования одного интерпретационного проекта;
- 4) расширение функционала работы с нейронными сетями, машинным обучением и распознаванием образов (в сотрудничестве с другими научно-исследовательскими группами ИНГГ СО РАН).

Команда разработчиков планирует вывод программного комплекса за рамки внутреннего проекта института и приглашает к сотрудничеству заинтересованных специалистов научных и производственных организаций для всестороннего тестирования продукта и получения обратной связи.

### **Список источников**

1. Лапковский В. В. Корреляция разрезов скважин как многомерная оптимизационная задача / В. В. Лапковский, А. В. Истомина, В. А. Конторович и др. // Геология и геофизика. 2015. Т. 56. № 3. С. 624–630.
2. Немирович-Данченко М. М. Применение конечно-разностного метода в переменных Лагранжа для расчёта волновых полей в сложно-построенных средах / М. М. Немирович-Данченко, Ю. П. Стефанов // Геология и геофизика. 1995. Т. 36. № 11. С. 95–104.
3. Chilès J. P. Modelling the Geometry of Geological Units and its Uncertainty in 3D from Structural Data – the Potential-Field Method, International Symposium / J. P. Chilès, C. Aug, A. Guillen et al. // Orebody Modelling and Strategic Mine Planning. 2014. Vol. 14. Pp. 329–336.
4. Stolz E. A Statewide 3D Geological Model for New South Wales / E. Stolz, G. Spampinato, J. Davidson // ASEG. 2019. Vol. 1. No. 4. DOI: 10.1080/22020586.2019.12073222.