

ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ СЕЙСМИЧЕСКИХ АТТРИБУТОВ ЗА СЧЕТ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ СОРТИРОВОК ТРАСС НЕПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛИРОВАНИЯ

А.В. Нежданов

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: Предложен новый подход пространственного анализа сейсмических атрибутов за счёт данных непродольного профилирования и дополнительных сортировок трасс. На примере Верхнекамского месторождения показано, что объёмное построение по продольным профилям формирует обобщённые модели с «размытием» границ аномалии. Решение включает применение непродольных систем наблюдений, обеспечивающих плотное волновое покрытие. Сравнение моделей продольного и непродольного профилирования подтвердило, что комбинированный подход повышает детализацию аномальных зон.

Ключевые слова: непродольные системы наблюдений, атрибуты волнового поля, сейсморазведка, геофизика, пространственное моделирование.

Прогнозирование неоднородностей соляной толщи на Верхнекамском месторождении традиционно осуществляется методами малоглубинной сейсморазведки высокого разрешения по методике общей глубинной точки (ОГТ). Однако 2D-интерпретация ограничивает возможности пространственного анализа при выявлении разуплотнений в водозащитной толще и обеспечения безопасной разработки месторождения.

Внедрение 3D-геоинформационных технологий позволяет создавать объёмные физико-геологические модели, локализовать аномалии в пространстве, минимизировать риски при эксплуатации залежей [1-4].

При построении объёмной модели, основанной исключительно на данных продольного сейсмического профилирования (2D-сеймики), возникают ограничения, связанные с латеральной неопределённостью. Данные, полученные по продольным профилям, обеспечивают информацию о вертикальных разрезах вдоль заданных направлений, но не позволяют корректно реконструировать трёхмерную структуру межпрофильных зон. В результате интерполяции данных между линиями профилирования формируются обобщённые (глобальные) зоны аномалий (рис. 1), характеризующиеся «размытием» границ.

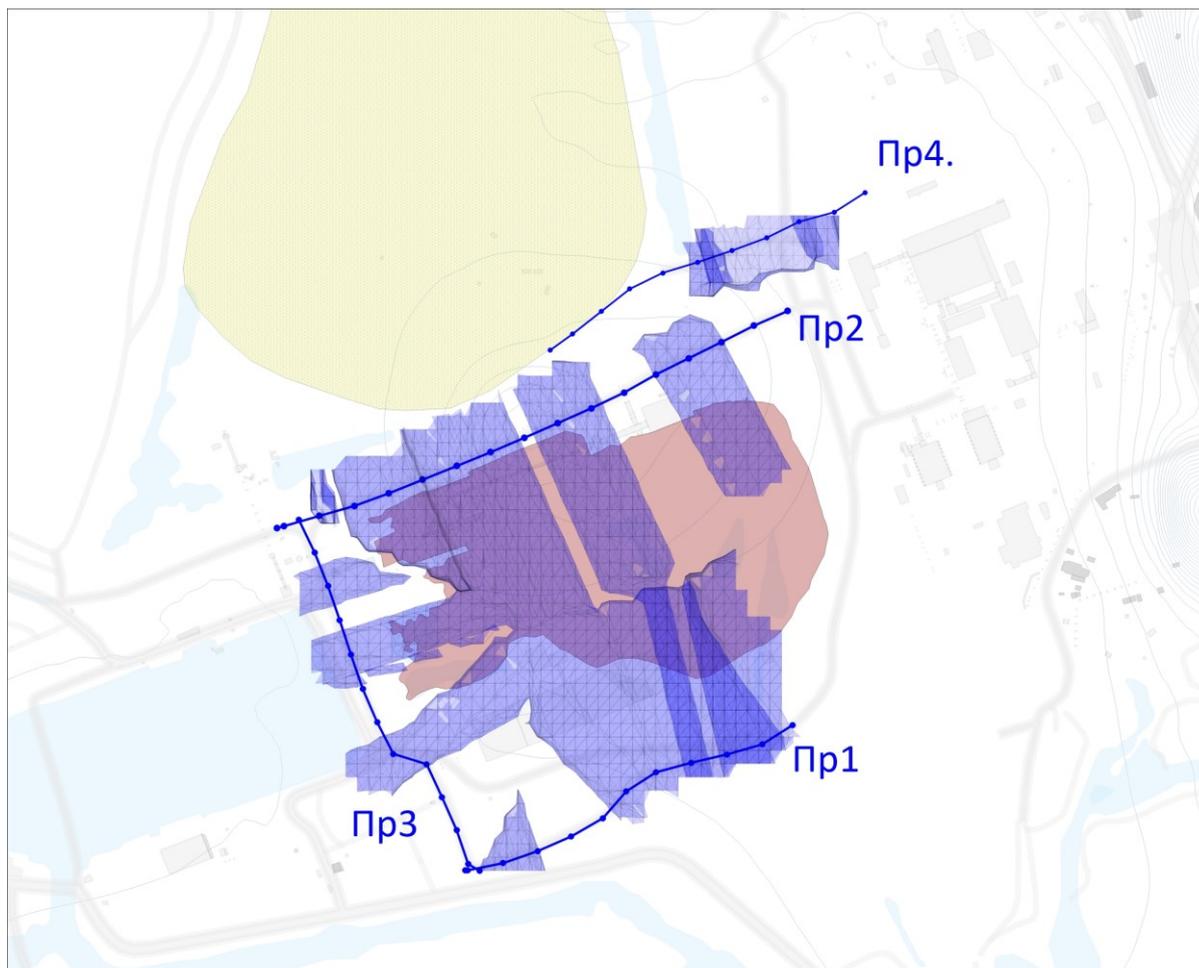
Таким образом, модели, построенные на основе продольного профилирования, пригодны для выделения региональных изменений свойств пород, но недостаточны для точной локализации аномалий в сложных геологических условиях.

В условиях ограниченных возможностей проведения сейсморазведочных работ на урбанизированных территориях целесообразно использование непродольных систем наблюдений.

Данные непродольного профилирования заполняют «слепую зону» между продольными линиями, обеспечивая плотное волновое покрытие. Это снижает риск возникновения ложных латеральных структур, характерных для моделей, построенных на продольных разрезах (рис. 2).

Совместная обработка данных продольного и непродольного профилирования позволяет разделить объёмные аномалии на дискретные компоненты, повышая достоверность моделей. Например, зоны с пониженными амплитудами, связанные с разуплотнением пород, перестают отображаться как единое целое (рис. 1) и приобретают более чёткие границы (рис. 3).

Традиционный метод построения временных разрезов непродольного профилирования основан на суммировании трасс по общей глубинной точке. Для устранения неопределённостей объёмных моделей внедряются дополнительные данные – сейсмические разрезы, построенные с сортировкой трасс по пункту приема и пункту возбуждения.



Условные обозначения

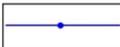
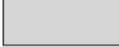
	- область обрушения		- линии оседаний
	- линии сейсмических малоглубинных профилей		- Водные объекты
	- Солеотвал		- Строения
	- Проекция объемной модели зон максимальных разуплотнений (Амплитуды) в интервале глубин от 20 до 350 м.		

Рис. 1. Схема с глобальными зонами аномалий

Для подтверждения эффективности внедрения дополнительных сортировок разработана 2D-модель, включающая аномальную зону с пониженными в два раза упругими свойствами относительно вмещающего массива и различным пространственным положением.

Рассмотрим распределение условных коэффициентов, определяемых при суммировании лучей, проходящих через массив пород (условная величина упругих свойств равна 1). В случае, когда аномальная зона отсутствует, значение среднего коэффициента для 5 проходящих лучей равно 1. При наличии аномалии (условная величина упругих свойств равна 0,5) в зависимости от количества лучей, участвующих в суммировании по пунктам возбуждения и приема, величина коэффициента уменьшается.

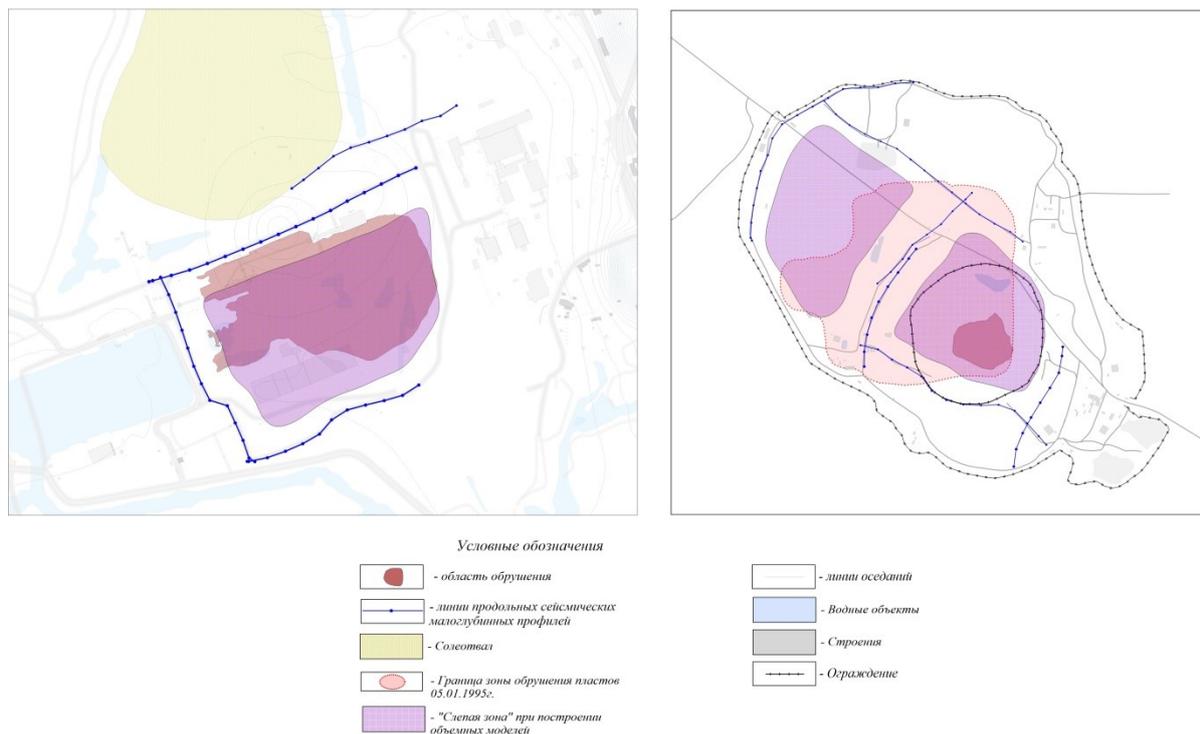


Рис. 2. Схема расположения «слепых зон» при построении объемных моделей на участках с обрушениями (провалами)

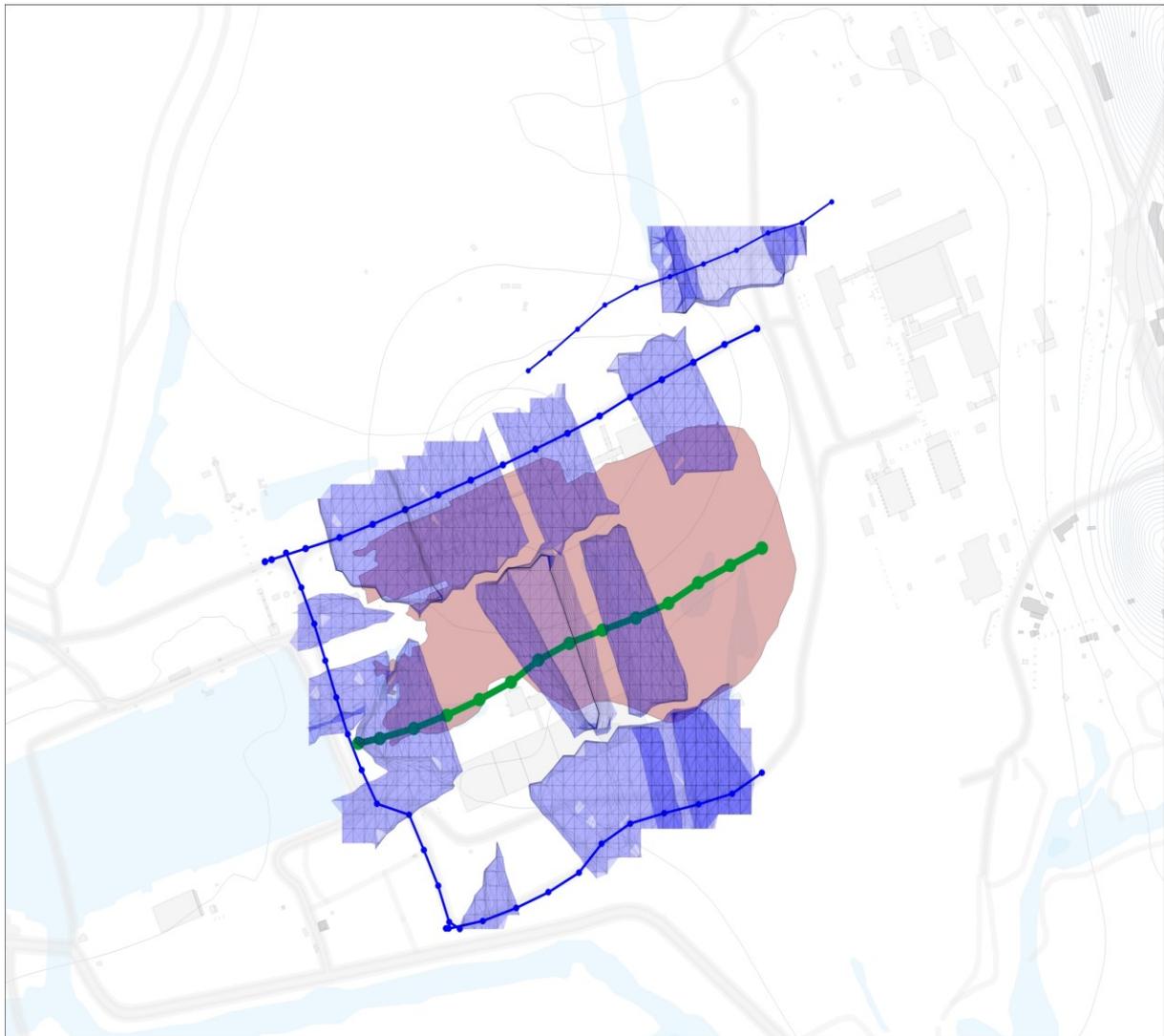
Анализ показал, что в случае, когда аномальная область находится в середине между профильными линиями, величина коэффициента суммирования в проекциях на пункт взрыва и пункт приема аналогична (рис. 4).

В случае смещения аномальной области к линии пункта взрыва (ПВ) происходит значимое изменение: в проекции пунктов возбуждения наблюдается уменьшение величины коэффициента, связанное с увеличением количества лучей, проходящих через аномалию на определенных пикетах. Само количество ПВ с величинами, не равными 1, также уменьшается.

В то же время при суммировании по пунктам приема наблюдается обратная ситуация: увеличение значений коэффициента за счет суммирования лучей, как проходящих через аномальную область, так и распространяющихся в массиве. Дополнительно отмечается расширение количества пунктов приема (ПП) со значениями, не равными 1. Таким образом, происходит уменьшение градиента и формирование «теневых зон».

Результаты моделирования демонстрируют возможность более точного определения пространственного положения аномалий на основе анализа асимметричности распределений упругих характеристик, формируемых при различных вариантах сортировки данных.

Пространственное расположение временных разрезов, полученных при разных методах сортировки данных, определяется геометрией системы наблюдений и совокупностью координат на ПП и ПВ (рис. 5). Каждый тип сортировки формирует уникальный набор пространственных точек, необходимых для внедрения данных в единую 3D-модель, облако точек. Координатная привязка при сортировке по ОГТ выполняется к центроиду между ПВ и ПП вдоль пикетной линии. При сортировке по ПВ разрезы привязываются к средним точкам между линией ОГТ и координатами ПВ, пространственные точки смещаются в сторону источников. Сортировка по пункту приема располагается аналогично сортировке по ПВ, но центроид располагается между линией ОГТ и позициями приёмников.



Условные обозначения

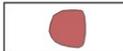
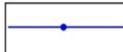
	- область обрушения		- линии оседаний
	- линии продольных сейсмических малоглубинных профилей		- Водные объекты
	- линии непродольного сейсмического профилирования		- Строения
	- Солеотвал		- Проекция объемной модели зон максимальных разуплотнений (Амплитуды) в интервале глубин от 20 до 350 м.

Рис. 3. Схема с делением объемной модели на дискретные компоненты

Пространственная привязка временных разрезов, зависящая от метода сортировки, является ключевым фактором, определяющим точность объемных моделей. Координатная неточность привязки разрезов с различной сортировкой может привести к погрешностям в локализации аномалий, что особенно опасно при прогнозировании зон провалов.

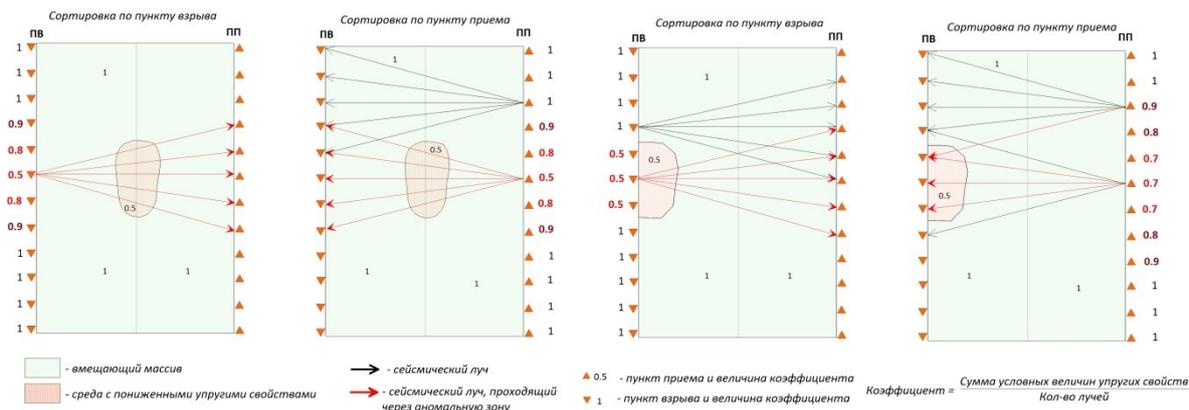


Рис. 4. Параметризованная 2D-модель расположения аномалии относительно ПП-ПВ и значения суммы коэффициентов условных физических параметров на ПП и ПВ



Условные обозначения

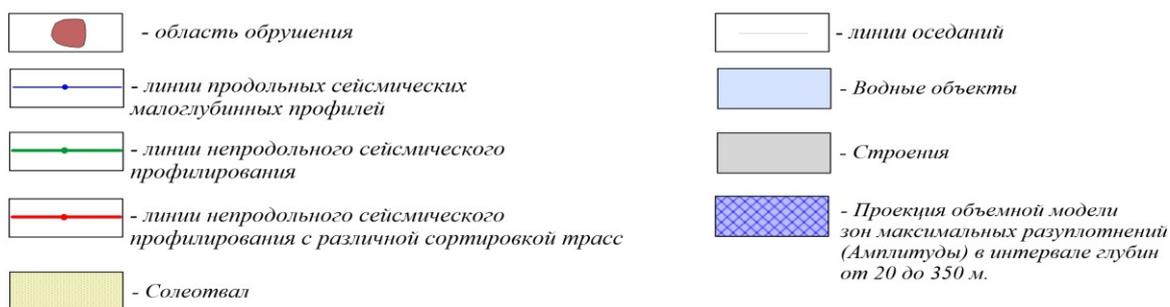


Рис. 5. Пространственное расположение временных разрезов с различной сортировкой и проекция объемной модели с учетом продольных, непродольных профилей

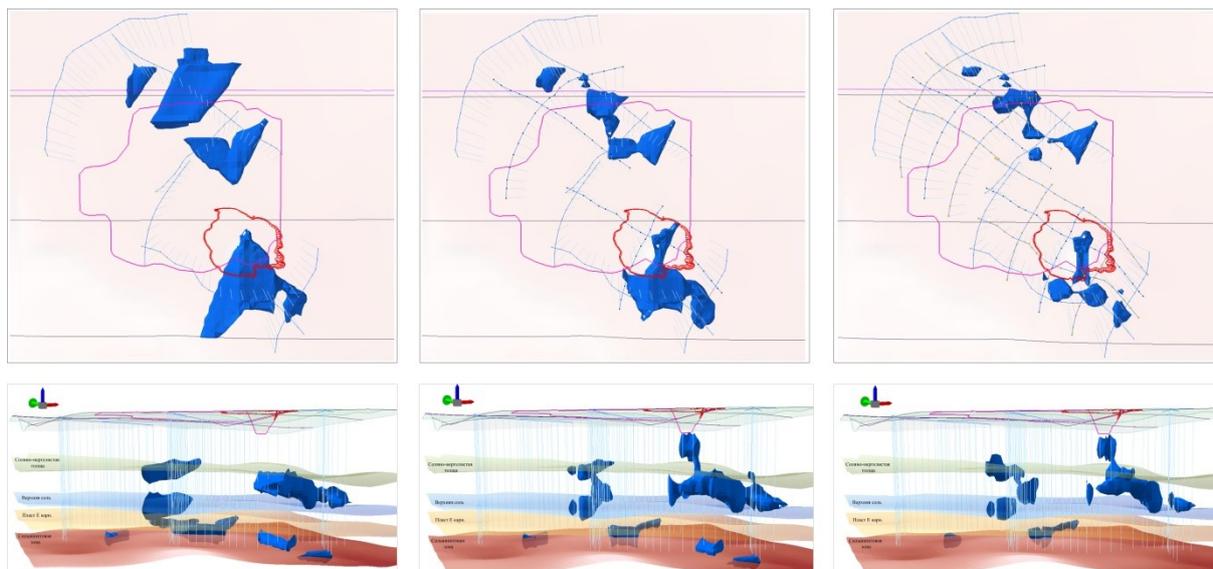


Рис. 6. Объемные модели с тремя видами объемных моделей:
 а) объемная модель с данными по продольному профилированию,
 б) объемная модель дополненная непродольным профилированием с сортировкой по ОГТ,
 в) объемная модель дополненная непродольным профилированием различной сортировкой

Сравнительный анализ трёх типов моделей (рис. 6) демонстрирует развитие детализации аномалий при последовательном внедрении многосортировочного подхода. Каждый этап направлен на повышение пространственного разрешения, необходимого для идентификации аномалий. На модели продольного профилирования (рис. 6а) структура аномалий имеют сквозной характер. На модели с включением непродольных профилей (рис. 6б) аномалии дробятся на дискретные элементы. Модель с многосортировочным построением (рис. 6в) позволяет выявить более чёткие границы аномальной зоны с выраженным направлением распространения [5-6].

Заключение

Современные методы пространственного анализа данных сейсморазведки позволяют перейти от усреднённых моделей к более высокоточным объемным моделям. Это крайне необходимо для локализации опасных зон (провалы, полости) и снижения геологических рисков.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Санфи́ров И.А., Бабкин А.И., Ярославцев А.Г., Жикин А.А., Фатькин К.Б. Сейсморазведочный мониторинг провалов над затопленным рудником // Инженерная геофизика – 2014: материалы 10-й науч.-практ. конф. и выставки. – Геленджик, 2014. – Электрон. изд. режим доступа: <http://www.earthdoc.org/publication/publicationdetails/?publication=75066>.
2. Санфи́ров И.А., Ярославцев А.Г., Бабкин А.И., Фатькин К.Б., Бобров В.Ю. Малоглубинная сейсмостратиграфия // Геофизика. – 2016. – № 5. – С. 11-18. Санфи́ров И.А., Ярославцев А.Г., Бабкин А.И., Фатькин К.Б., Бобров В.Ю. Малоглубинная сейсмостратиграфия // Геофизика – 2016. – №5. – С. 11-18.
3. Санфи́ров И.А. Рудничные задачи сейсморазведки МОГТ / ГИ УрО РАН. – Екатеринбург, 1996. – 168 с.
4. Нежданов А.В., Богданов Р.А., Калашникова М.М. Пространственная интерпретация данных малоглубинной сейсморазведки с применением 3D технологий в геоинформационных системах // Инженерная и рудная геофизика – 2022: сб. материалов 18-ой науч.-практ. конф. и выставки, 5-8 сент. 2022 г. – М., 2022. – С. 430-439.
5. Основы геоинформатики: В 2 кн.: учеб. пособие / [Капралов Е.Г. и др.]; под ред. В. С. Тикунова. – М.: ACADEMIA, 2004.– Кн. 1. – 345 с.
6. ESRI ArcGIS 9 Spatial Analyst. – Рук-во пользователя: офиц. перевод ESRI от Data+. – 2004. – 216 p.