

Эластичные системы наблюдения в сейсморазведке с использованием ПАК «Геотом»: как сократить затраты без потери качества съемки

- Нефедов Н.Е., ООО «Фирма «Геосейс», г. Москва.
- Анкушев В.В., ООО «Сейстех», г. Москва.

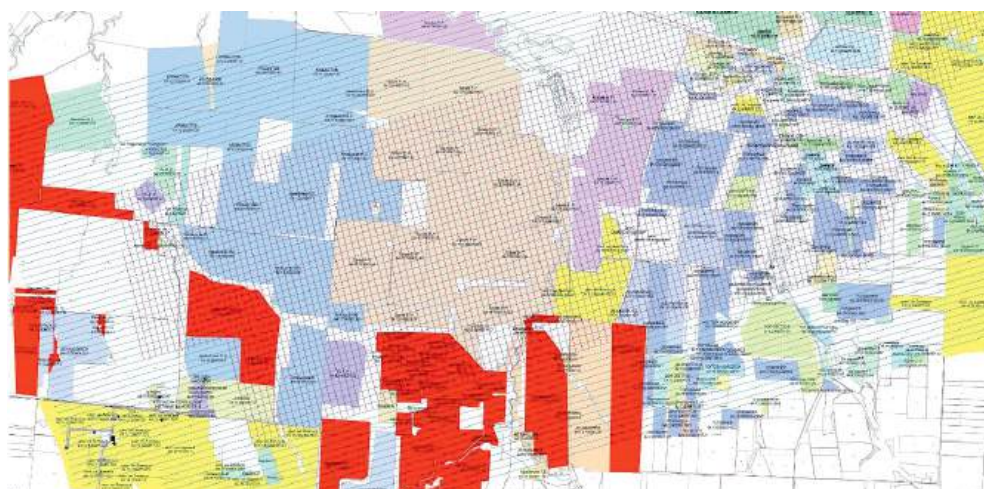
В современных условиях развития нефтегазовой отрасли особенно актуальным становится вопрос оптимизации затрат при проведении сейсморазведочных работ. Эластичные системы наблюдения представляют собой инновационный подход к организации сейсмических исследований, который позволяет существенно сократить расходы без потери качества получаемых данных. Термин «эластичный» более точно отражает суть подхода к принципам проектирования полевой системы наблюдения, чем «нерегулярные» системы.

Проблема экономической эффективности особенно остра на территориях с интенсивным земледелием, где компенсационные выплаты за потраву посевов могут достигать 20-25% от общей себестоимости проекта. В районах интенсивного землепользования при выполнении сейсморазведочных работ необходимо заключать компенсационные договора по каждому хозяйству, оплачивать движение техники при проезде через поля – как по линиям движения источников, так

и линиям приемным. Что в итоге приводит к удорожанию работ. Это создает серьезные финансовые ограничения для компаний-заказчиков, увеличивая бюджеты проектов. При этом отсутствуют строгие юридические нормы, позволяющие заранее точно определить фактические потравы посевов. Сельскохозяйственная деятельность затрудняет сейсморазведку, в связи с неопределенными сроками проведения агротехнических мероприятий, отсутствию четких правил расчета компенсационных выплат, необходимости выполнения работы в сжатые сроки, сложностям обхода ирригационных систем.

Традиционные методы сейсморазведки с использованием кабельной аппаратуры демонстрируют ряд недостатков, требующих привлечения тяжелой техники, длительного времени на развертывание, многократных проездов по сельскохозяйственным участкам и увеличивающих выплаты за потраву. В то же время применение недорогих и простых в развертывании нодальных систем наблюдения казалось бы могло стать

- **Рис. 1.**
В районах интенсивного землепользования практически нет свободных от посевов участков.



решением для повышения эффективности в районах с интенсивным земледелием, однако такие системы являются «слепыми» и не позволяют контролировать условия регистрации, а отсутствие удаленного контроля за состоянием каналов увеличивает риск потерь оборудования и данных.

Поэтому особую важность приобретает внедрение современного бескабельного оборудования с возможностью удаленного управления. К примеру, ПАК «Геотом» позволяет быстро разворачивать системы без кабельной инфраструктуры, осуществлять дистанционный контроль всех компонентов, автоматическую корректировку параметров регистрации в зависимости от условий, минимизировать воздействие на сельскохозяйственные угодья и сокращать время на подготовительные и полевые работы.

Благодаря этим возможностям использование бескабельных систем становится ключевым фактором для реализации концепции эластичных систем наблюдения, обеспечивая максимальную эффективность, минимальные затраты и минимальное воздействие на окружающую среду. В условиях растущей необходимости оптимизации сейсморазведочных работ внедрение эластичных систем наблюдения становится максимально актуальным, позволяя снизить себестоимость работ при сохранении высокого качества данных.

Основные принципы создания эластичных систем наблюдения в сейсморазведке

В современном проектировании систем сейсморазведки существует множество методов, позволяющих адаптировать их под сложные поверхностные условия местности. Каждый

проект предусматривает возможность смещения расположения пунктов приёма (ПП) и пунктов возбуждения (ПВ) при обходе препятствий или непроходимых зон. Однако такие подходы часто приводят к тому, что на одних участках пункты системы уплотняются, в то время как на других – их число снижается, что усложняет создание однородной и эффективной сети. Основная задача в этом случае — обеспечить сбор данных, которые можно преобразовать в регулярную сетку точек ОГТ. Но при нерегулярной геометрии расположения ПП и ПВ это сделать становится значительно сложнее, поскольку нужно учитывать не только зоны номинальной кратности, но и различные направления измерений, такие как азимутальные или смещённые измерения.

Процесс проектирования эластичной системы предполагает использование гибких настроек, что позволяет максимально адаптировать её под конкретные геологические условия и задачи исследования.

Основными элементами такой адаптации являются:

- Технологичность и удобство развертывания сейсморегистрирующих систем в короткие сроки;
- Минимизация наладки приемных линий;
- Возможность изменения плотности размещения приемных датчиков;
- Возможность изменения плотности размещения пунктов возбуждения;
- Максимальное использование существующих проездных путей и дорог для перевозки оборудования и прохода источников возбуждения;
- Оптимизация количества пунктов возбуждения для снижения затрат и повышения эффективности проекта.

Не менее важно учитывать особеннос-

ти рельефа местности, наличие зон, где размещение ПП и ПВ невозможно или нежелательно, и разрабатывать проект с учетом этих ограничений. Такой подход предполагает использование итерационного метода — постепенного построения системы с последующими корректировками по мере накопления новых данных и анализа условий работы.

В целом, проектирование эластичной системы наблюдения — это сложный и многоступенчатый процесс, требующий тщательного анализа геологических, географических и технологических особенностей района исследования. Он включает моделирование различных конфигураций, оценку риска получения недостаточного или нерегулярного набора данных, а также использование методов оптимизации для достижения максимально возможной эффективности. Такой подход обеспечивает возможность создания системы, способной адаптироваться к изменяющимся условиям, максимально полно охватывать исследуемую площадь и получать высококачественные данные для дальнейшего анализа.

Процесс создания эластичной системы наблюдения можно разделить на этапы:

1. Формирование номинальной (проектной) геометрии;
2. Выявление потенциальных мест для размещения ПП и ПВ;
3. Создание первичной сети пунктов системы наблюдения;
4. Оценка проекта с точки зрения равномерности и достаточности кратности, азимутального распределения отражающих площадок;
5. Оптимизация полевой системы наблюдения — удаление излишних узлов системы наблюдения;
6. При необходимости — добавление точек в местах недостаточной плотности.

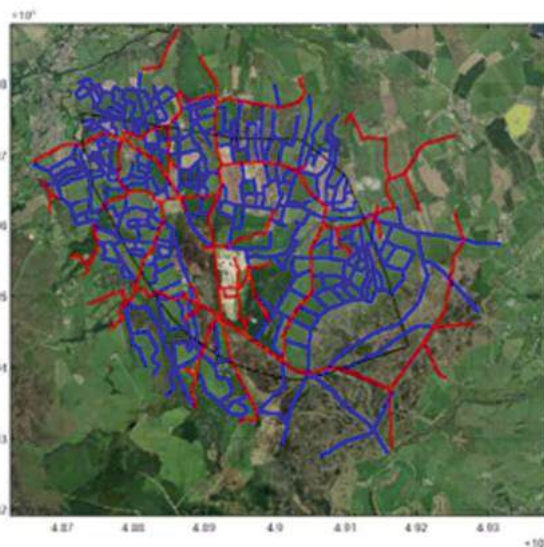
*Этапы 4-6 являются итерационными, требующих нескольких циклов в формировании системы, возможно, дополнительной рекогносцировки на место проведения исследований.

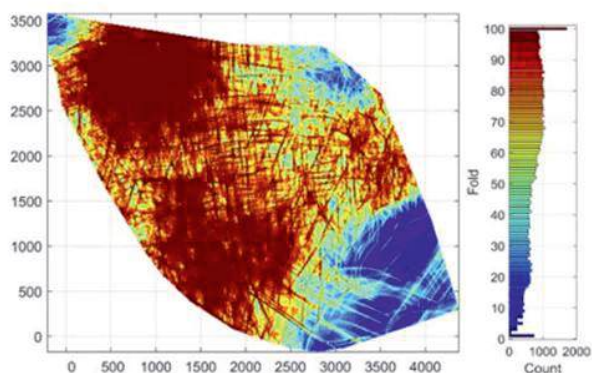
Пример реализации эластичной системы наблюдения приведен в статье «Проектирование «оппортунистических» или разреженных наземных сейсмических исследований» (The design of 'opportunistic' or sparse onshore seismic surveys) [1] (Рис.2-4).

▼ Рис. 2. Результаты рекогносцировки площади исследования, показывающая различные возможные линии съемки, к которым был доступ, и границу области изображения. [1]



▼ Рис. 3. Проектная система наблюдения (синие линии — размещение приемных пикетов, красные — размещение пунктов возбуждения) [1].





▲ Рис. 4. Поле кратности проектируемой системы наблюдения. Первая итерация. [1]

В данном примере на этапе проектирования выявлены все возможные линии размещения ПП или ПВ в пределах обследуемой зоны, к которым имелся доступ (Рис.2.):

- Общественные дороги (19,5 км): используются как линии источников и приемников;
- Частные дороги и тропы (24,5 км): применимы для обоих типов линий;
- Дороги в шахтной зоне (2,9 км): применимы для обоих типов линий;
- Пешеходные тропы (39 км) - только для линий приемников;
- Границы полей (72 км) - только для линий приемников.

Первый этап в процессе проектирования заключается в определении предпочтительных параметров съемки с регулярной геометрией, т.е. создается идеальная система наблюдения, игнорирующая любые помехи размещения ПП и ПВ. Теоретическое проектирование также дает представление о вероятном общем количестве источников и приемников, что является ранним индикатором экономической оценки проекта.

На следующем этапе – создание возможной сети наблюдения, - необходимо максимально использовать априорные данные по поверхностным условиям съемки (карты, детальные аэрофотоснимки, рекогносцировку местности)

(Рис.3.). После определения всех возможных линий размещения узлов съемки создается первая версия эластичной съемки, которая оценивается по потенциальному полю кратности (Рис.4).

Анализ кратности позволяет выявить места снижения кратности ниже допустимых значений, покажет избыточную плотность в местах чрезмерного сгущения узлов полевой системы наблюдения. Этап заполнения выявляет области, где требуются дополнительные точки для улучшения равномерности полевой системы наблюдения для получения кондиционных данных. Реализация этапа заполнения, показанная в примере выше, сосредоточена на эффектах добавления приемных точек, поскольку съемка формировалась под нодальную систему регистрации сейсмических данных. Трудозатраты по установке дополнительного бескабельного блока регистрирующей системы существенно ниже, чем реализация дополнительного пункта возбуждения.

По результатам нескольких итераций формируется эластичная система наблюдения с минимальным количеством узлов съемки, оптимальным соотношением количества ПП и ПВ, обеспечивающим равномерное покрытие площади с минимальными затратами.

ПАК «Геотом» – эффективное решение для формирования эластичных систем наблюдения в сейсморазведке

Одним из ключевых факторов успешной реализации эластичных систем наблюдения является использование современных технологий и программных решений, способных обеспечить гибкое и адаптивное управление процессами. В этом контексте ПАК «Геотом» выступает как передовое аппаратное решение в части сейсморегистрирующей

системы, предлагающее широкий функционал для создания, настройки и мониторинга систем наблюдения, отвечающих принципу эластичности.

Программно-аппаратный комплекс (ПАК) «Геотом» является российской разработкой бескабельной телеметрической сейсморегистрирующей системой с удаленным контролем и управлением всей полевой расстановкой. Управление всей системой Геотом осуществляется с рабочего места оператора. Возможна организация нескольких рабочих мест наладки и контроля napольного оборудования на одном проекте (Рис.5.).

Рабочий диапазон радиочастот системы Геотом – 433 МГц (не требует лицензирования). Устойчивая связь между блоками достигается на расстояниях порядка 300–500 м. Система позволяет управлять всей расстановкой дистанци-

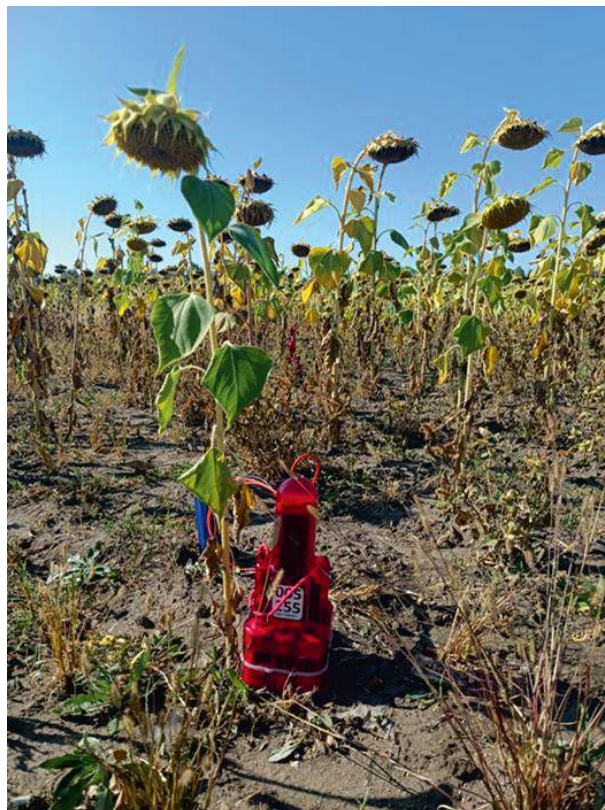
онно, включать и выключать регистрацию, контролировать позиционирование каналов и устойчивость радиосигнала, тестировать всю расстановку и выбранные каналы, контролировать уровень заряда батарей и состояние памяти.

ПАК «Геотом» обеспечивает оперативное взаимодействие с каждым блоком полевой расстановки и автоматизацию ключевых операций, что позволяет оперативно реагировать на изменения условий работы, оперативно вносить корректировки в параметры систем наблюдения. Благодаря модульной архитектуре и возможности интеграции с разнообразными датчиками и оборудованием, дает возможность сформировать максимально адаптивную и масштабируемую систему, которая легко подстраивается под конкретные задачи и

▼ Рис. 5. Управление и контроль ПАК «Геотом» может осуществляться с нескольких точек, непосредственно на профиле.



▼ Рис. 6. Сейсморазведка с ПАК «Геотом» не наносит ущерб сельскому хозяйству.



особенности геологических условий. Использование данной системы позволяет реализовать концепцию эластичных систем наблюдения, которая подразумевает создание нерегулярной системы распределения ПП и ПВ по площади исследования, гибкое перераспределение ресурсов и оптимизацию технологического процесса в реальном времени.

Таким образом, ПАК «Геотом» является превосходным выбором для разработки и внедрения эластичных систем наблюдения в сейсморазведке, способствующим повышению точности, оперативности и экономической эффективности исследований.

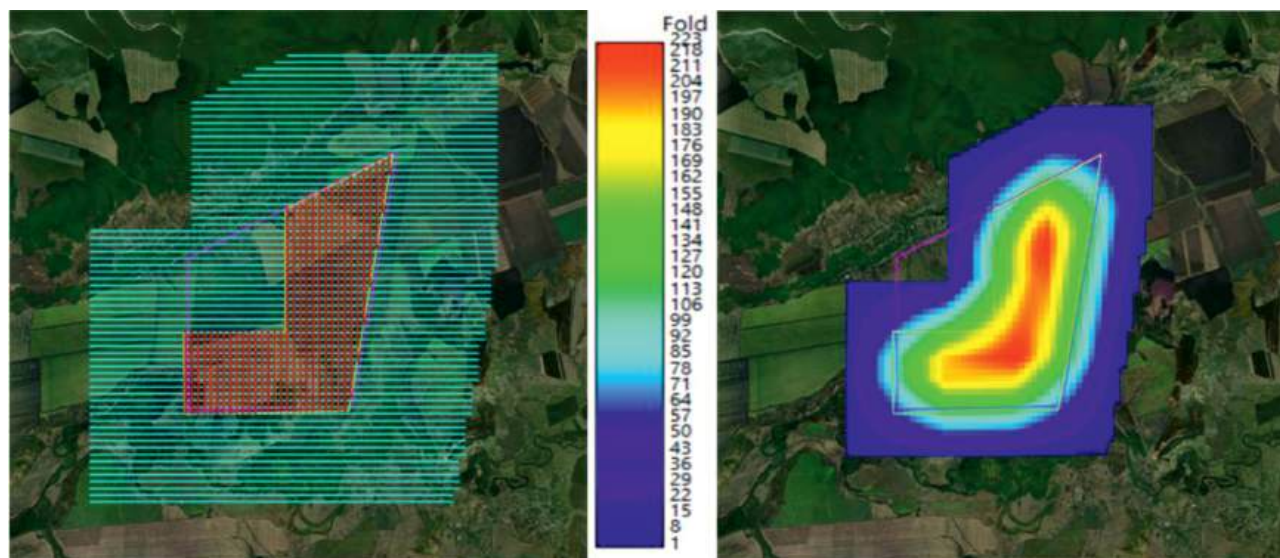
▼ Табл. 1.

Параметры методики работ	Проектные параметры	Эластичная система
Вид съемки	МОГТ 3D, центральная, симметричная – «крест»	МОГТ 3D, регулярное расположение ПП, нерегулярное положение ПВ
Метод возбуждения колебаний	Вибрационный	Вибрационный
Количество с/приемников на канал	12	1
Способ группирования геофонов	Линейное, база 25м	Не применим
Тип сейсмоприемника	GS-20DX или аналог	Типа YF-Solo
Количество активных каналов на 1 ф.н.	4800	5000
Шаг ПП (м)	30	25
Количество активных каналов в одной линии	160	Съемка на всю приемную расстановку (full spread)
Способ перекрытия	По линиям приема	
Номера ближайших каналов к линии возбуждения	80,81	
Количество линий наблюдения в одном блоке	30	
Расстояние между линиями приема (м)	150	200
Кратность наблюдений (бин 25мх25м)	224	230
Минимальное удаление взрыв-прием (м)	21	1
Максимальное удаление взрыв-прием (м)	3269	7925
Максимальное удаление взрыв-прием вдоль ЛПП(м)	2385	-
Максимальное удаление взрыв-прием вдоль ЛПВ (м)	2235	-
Количество пунктов возбуждения на линии возбуждения при отработке одного блока	5	Съемка «full spread»
Расстояние между линиями возбуждения (м)	150	По нерегулярной сети дорог
Шаг ПВ (м)	30	25
Плотность ф.н./кв.км (шт.)	~230	
Объем работ по площади ПВ	14 кв. км	18 кв км

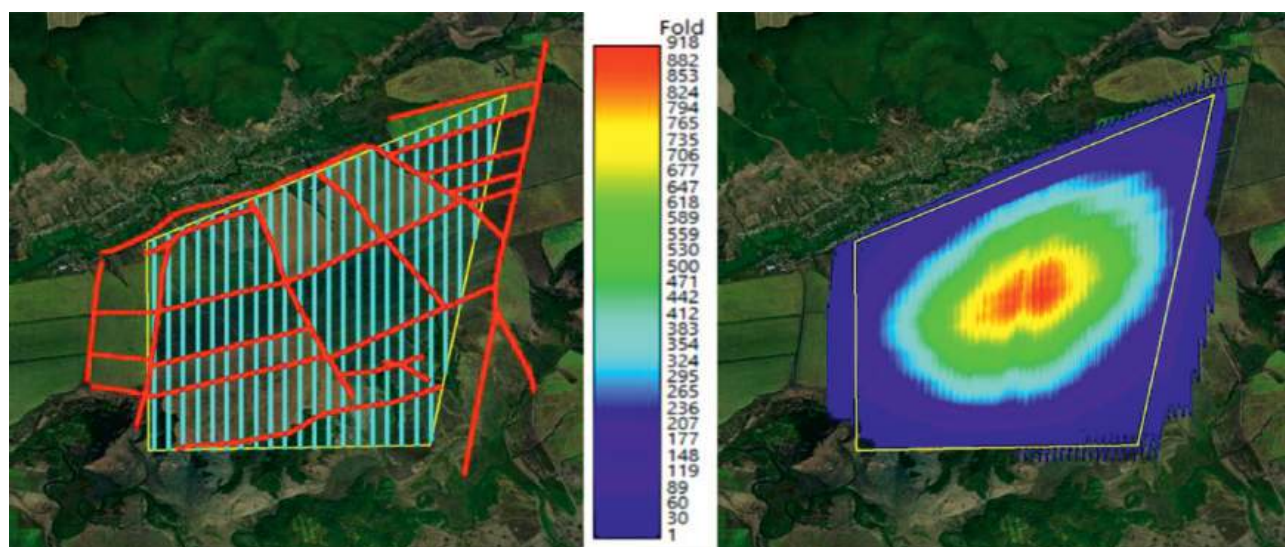
*Уточняются по результатам опытных работ.

Эластичные системы наблюдений - оптимальный выбор для изучения небольших объектов в центральном и южном регионах.

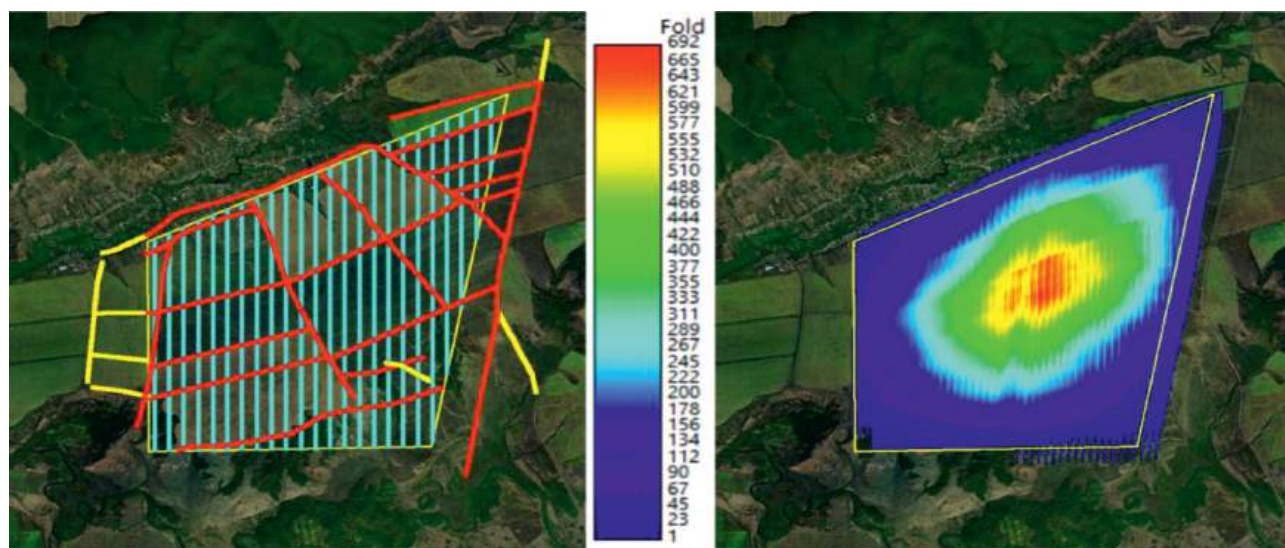
Рассмотрим эффективность применения эластичных систем наблюдения на примере небольшой площади в центральном регионе России. Площадь лицензионного участка вместе с горным отводом – менее 20 кв.км. Трансформация регулярной системы наблюдения, определенной геологическим проектом исследования в эластичную представлена в табл.1.



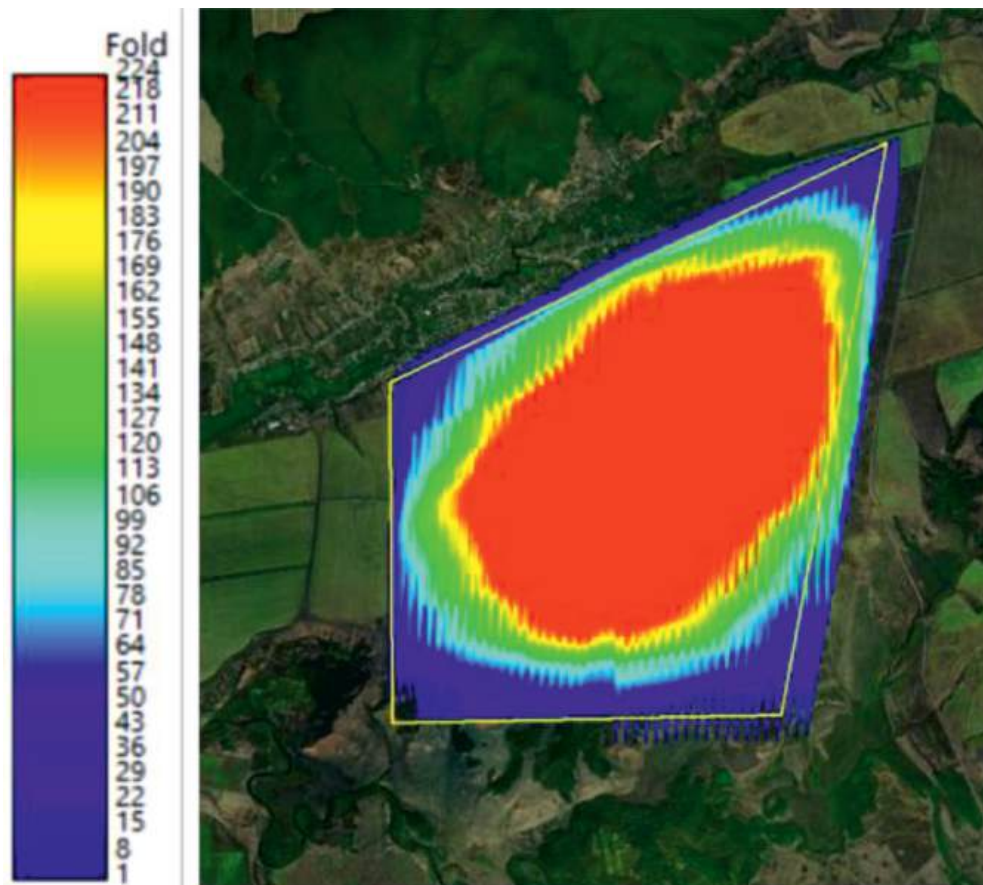
▲ Рис. 7. Методика работ и поле кратности согласно проектным параметрам съемки (Табл.1.)



▲ Рис. 8. Эластичная полевая система наблюдения и поле кратности к ней (Табл.1).
Первая итерация. — Линии размещения ПВ — Линии размещения ПП



▲ Рис. 9. Эластичная полевая система наблюдения и поле кратности к ней.
Итоговый вариант. — Линии размещения ПВ — Линии размещения ПП — Скорректированные линии ПВ



◀ Рис. 10.
Выравненное
поле кратности
эластичной
полевой системы
согласно ГТЗ.

После создания предварительной сетки профилей с использованием технологии FULL-SPREAD можно наблюдать, что центральная часть площади является зоной сверхповышенной кратности. Так как эластичная система предусматривает возможность изменения количественного параметра ПВ, с точки зрения экономической и производственной эффективности мы исключаем из

исходного проектного варианта некоторые участки, расположенные далеко за пределами исследуемого контура. Как показали результаты, эти участки не оказывают существенного влияния на итоговый результат. В результате снижается общая кратность по всей территории исследования, однако после выравнивания покрытия по кратности, согласно указанным в ГТЗ параметрам, становится

▼ Табл. 2. Оптимизация количества узлов полевой системы наблюдения.

	Проектная съемка	Эластичная система
Общая длина ЛПП	550.9 пог.км	95.7 пог.км
Общее кол-во ЛПП	67	24
Общее кол-во ПП	18430	3850
Общая длина ЛПВ	94.6	54.9 пог.км
Общее кол-во ЛПВ	33	23
Общее кол-во ПВ	3187	2220

очевидным, что требуемая кратность сохраняется и остается в допустимых пределах. Таким образом, мы достигаем сокращения как финансовых затрат, так и времени выполнения работ.

Минимизация потрав посевов на проекте обеспечивается:

- Использование современного мобильного оборудования ПАК «Геотом» с расстановкой по полям в ручную;
- Использование для проезда источников сейсмических колебаний преимущественно дорог;
- Кратным уменьшением общей длины линий сейсмических исследований – почти в 5 раз.

Общая экономическая эффективность проекта достигается за счет ряда мер. Во-первых, существенно снижаются трудозатраты при установке оборудования благодаря отказу от использования тяжелой техники для расстановки приемных пикетов. Во-вторых, уменьшаются затраты на компенсацию за повреждение посевов, поскольку правильная организация переговорного процесса с землепользователями позволяет свести эти выплаты практически к нулю. В-третьих, применяется бескабельное оборудование с возможностью удаленного контроля за процессом расстановки приемных пунктов, что делает работу более быстрой и удобной. Также проводится оценка баланса между трудозатратами на развертывание системы наблюдения и возможными затратами на компенсации за повреждение посевов.

Наконец, сокращение времени проведения технологических сейсморазведочных операций позволяет вписывать исследования в межсельскохозяйственные перерывы, что значительно повышает общую эффективность и экономию ресурсов.

Сохранение высокого качества проведения исследований обеспечивается за счет комплексного подхода, включающего точное моделирование мест проведения работ перед началом развертывания оборудования. Это позволяет заранее определить оптимальные параметры и снизить риск ошибок. Кроме того, применяется адаптивное размещение датчиков, что позволяет добиться необходимой кратности в каждом бине съемки, обеспечивая более точные и надежные результаты.

Важной составляющей является использование современных методов обработки данных, включающих инновационные алгоритмы регуляризации, которые позволяют повысить качество интерпретации и устранить возможные искажения. Также учитываются особенности геологического строения изучаемого объекта; в связи с этим осуществляется адаптация плотности наблюдений под конкретные задачи исследования на различных глубинах разреза, что способствует достижению максимальной точности и полноты получаемых данных. Все эти меры вместе позволяют иных геологических исследований.

Дальнейшее совершенствование метода связано с:

- Развитием технологий автоматического проектирования эластичных систем наблюдения, с использованием Искусственного Интеллекта
- Разработкой новых эффективных алгоритмов обработки нерегулярных систем наблюдения
- Разработкой новых возможностей сейсморегистрирующей аппаратуры, позволяющих обходиться без предварительной топопопривязки приемных пикетов.

Заключение

Внедрение эластичных систем наблюдения позволяет существенно сократить эксплуатационные затраты за счет минимизации потерь посевов, сокращения времени выполнения работ и снижения необходимости в тяжелой технике и большом штате персонала. Такой подход обеспечивает выполнение большинства операций с высокой гибкостью и без ущерба для качества получаемых данных, что особенно важно при работе в условиях сложных геологических особенностей. Использование таких систем открывает новые возможности для оптимизации сейсморазведочных мероприятий, повышая их эффективность и снижая затраты. Среди решений, способных реализовать эластичные системы наблюдения, ПАК Геотом является лучшим выбором благодаря своей технологической зрелости, надежности и широким возможностям адаптации под разные условия. В итоге, интеграция таких систем способствует более точному мониторингу, быстрому реагированию на изменения и повышению общей эффективности геологических исследований.

Литература:

1. Гурьев С.В., Савин А.Н., Капустин Д.А., Адаптация ПАК «Геотом» к современным вызовам сейсморазведки. Год 2025, «Приборы и Системы разведочной геофизики», СПЕЦ, 2025;
2. Tim Dean <https://doi.org/10.1190/tle43080506>, The design of 'opportunistic' or sparse onshore seismic surveys, Special Section: Geophysics and sustainability August 2024 The Leading Edge
3. Тиссен А. А., «Революция сейсморазведки в эпоху «ГЕОТОМ»», «Приборы и системы разведочной геофизики», №2 (77), 2023 г.

Подробнее об авторах



Нефедов
Никита Евгеньевич,

ООО «Фирма «Геосейс»,
г. Москва



Анкушев
Вадим Викторович

ООО "Сейстех"