

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ
Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра геофизики

«Формирование параметров регулярной системы наблюдений 3D
сейсморазведки на примере участка Саратовской области»

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Студента 5 курса 501 группы направления подготовки

05.03.01 «Геология» геологического факультета

СГУ им. Н.Г.Чернышевского

Ткаченко Дмитрия Сергеевича

Научный руководитель

К. г.-м.н., доцент

Е.Н. Волкова

подпись, дата

Зав. кафедрой

К. г.- м.н., доцент

Е.Н. Волкова

подпись, дата

Саратов 2019

Введение. Актуальность. Как известно, площадная съемка (сейсморазведка 3D) в последние два десятилетия успешно применяется на этапах доразведки и разработки нефтяных и газовых месторождений. Ее доля в общем объеме сейсморазведочных работ неуклонно увеличивается. На Западе она превышает 80%. В России в 1998 году она составила 40%, а в 2004 уже 50%. Сейсморазведочные работы проводятся при разведке и разработке нефтегазовых месторождений. Однако все шире технология 3D начинает использоваться и на поисковом этапе.

Действительно двумерные методики измерений лучше развиты, проще в реализации, дешевле и производительнее трехмерных. К тому же они имеют меньше ограничений по расположению сети наблюдений. Однако трехмерные методики изучения приобретают сегодня особую актуальность в связи с тем, что наиболее крупные месторождения нефти и газа уже выявлены и разведаны. Объектами исследования становятся более мелкие месторождения со все более сложно построенными резервуарами, что приводит к повышению риска бурения пустых скважин.

Соответственно возрастают требования к точности и детальности структурных построений, к достоверности прогнозов петрофизических характеристик среды по данным сейсморазведки.

Сравнение 2D и 3D технологий позволяет отметить такие преимущества съемки 3D, как детальность исследований; больший эффект подавления помех при равной кратности перекрытия; возможность восстановления пространственного положения отражающих границ и динамических характеристик отражений; более высокая степень надежности выделения и трассирования границ резкого изменения рельефа отражающих поверхностей; оптимизацию соотношения цена/качество (рост стоимость работ 3D по сравнению с детальной съемкой 2D всего в 2 раза при значительном увеличении пространственной разрешенности).

Для написания ВКР были использованы материалы производственной практики в ГЭЦОИ ОАО "Саратовнефтегеофизика", где автор принимал

участие в работе группы препроцессинга и геолого-геофизического сопровождения.

Цель бакалаврской работы заключалась в анализе результатов выбора и применения регулярной системы наблюдения на натурном участке с конкретными сейсмогеологическими условиями.

Для достижения указанной цели поставлены задачи:

1. дать краткую характеристику геолого – геофизических условий проведения работ на исследуемом участке;
2. изложить теоретические представления о системах наблюдения 3D;
3. исследовать особенности различных систем наблюдения и критерии выбора система наблюдения;
4. рассмотреть принципы оптимального выбора и расчета их основных параметров;
5. проанализировать основные математические формулы и этапы расчета систем 3D;
6. проанализировать методику и результаты применения регулярной системы 3D на примере Учебного участка.

Основное содержание работы. Первый раздел работы включает в себя описание административно-географического положения территории. Исследуемая площадь относится к Ершовскому району Саратовской области. Холмистая степная равнина, расчлененная в центральной части площади балкой Татарская-Касьянова. Крутизна склонов не превышает 20° , колебания абсолютных отметок рельефа от +50 м до +92 м. На участке присутствуют балки, пашни и посевы сельскохозяйственных культур, полностью отсутствует гидросеть. Ближайшие пруды в 2-3 км от границы площади, а речки Солянка и Полуденка, перегороженные плотинами, протекают севернее и восточнее участка соответственно. Исследуемая площадь также удалена как минимум на 10 километров от населенных пунктов и различного рода коммуникаций.

Непосредственно на площади съёмки МОТТ-3D на момент проведения работ было пробурено 5 глубоких скважин. Первая из буривших скважин подтвердила наличие газоконденсатного месторождения на Учебном участке. Ее забой находится в бийских отложениях среднего девона, остальные 4 вскрыли породы протерозойского возраста.

В тектоническом отношении площадь работ располагается на юго-западном склоне Марьевской вершины Пугачёвского свода, которая выделяется зоной минимальных толщин отложений карбонатного девона. В пределах участка работ предполагалось отсутствие развитой сети дизъюнктивных нарушений, однако, в последующем по результатам обработки и интерпретации данных описываемых работ 3D, был установлен ряд тектонических разломов предфаменского возраста с простиранием в направлении ЮЗ-СВ с амплитудами от 20 до 130 метров.

В разрезе осадочного чехла по результатам работ прошлых лет был установлен ряд поверхностей несогласия: предсреднедевонская, предфаменская, предбобриковская, предьюрская и преднеогеновая, образовавшихся в результате длительных перерывов в осадконакоплении. Каждая из указанных поверхностей характеризуется выпадением отдельных литологических комплексов в объёме до целой системы, угловым несогласием контактирующих отложений и следами активной эрозионной деятельности.

Наиболее сложный рельеф имеет **преднеогеновая поверхность размыва**, на которую выходят нижнепермские отложения. По существу, описываемая поверхность размыва является первой жесткой границей для исследуемой площади. Соответственно, ее сложно изрезанная поверхность с большим перепадом углов наклона на различных участках обуславливала сложную геометрию лучей отраженных и преломленных волн, в результате чего прослеживание нижележащих отражающих горизонтов являлось делом весьма затруднительным. По данным бурения и сейсморазведочных работ прошлых лет было установлено, что девонские и каменноугольные

отложения характеризуются общим **наклоном** в южном направлении. В продуктивной структуре выделены 2 ловушки: комбинированная и сводовая тектонически-ограниченная. Основной продуктивной толщей являются бийские отложения, из которых в свое время был получен промышленный приток газа и в незначительной мере конденсата и нефти. Основные перспективы газоносности связывались также с незначительными по мощности (2-3 метра) клинцовскими песчаниками, которые тоже оказались газоносными по результатам опробований пластов одной из 5 скважин.

Размеры объектов по горизонтали составляли сотни метров вплоть до километра, по вертикали десятки метров, но поскольку подразумевалось выделение новых тектонических нарушений, то размеры отдельных блоков могли быть существенно меньшими. Это предопределило выбор стандартного шага дискретизации по поверхности и по глубине для обеспечения детальных сейморазведочных работ 3D.

Второй раздел работы посвящен выбору системы наблюдения и расчету оптимальных параметров. Регулярные площадные системы наблюдений применяются в сравнительно благоприятных поверхностных условиях (степи, полупустынные участки суши, а идеальный вариант - акватории морей и океанов). В таких условиях равномерное распределение общих средних точек по участку исследования можно легко достигнуть, если имеется возможность размещения по площади работ линий источников и приемников по опять же равномерной двумерной сетке с фиксированным расстоянием между источниками и приемниками (например, по прямоугольной или квадратной сети). На данный момент регулярные площадные системы достаточно высокой сложности являются приоритетными в практике сейморазведочных работ, поскольку именно они обеспечивают наиболее изометричную форму пространственных годографов, а также равномерное распределение азимутов подхода сейсмических лучей и спектров удалений источник - приемник в бинах (подробнее речь об этих параметрах пойдет ниже).

Нерегулярные системы наблюдений применяют в трудных физико-географических условиях проведения наземных полевых работ (горные условия, транзитные зоны суша - море, высокая урбанизация территории и т.п.). Для такого рода систем, очевидно, распределение вышеуказанных параметров существенно хуже. Кроме того, в пределах площади съемки, как правило, отмечаются значительные колебания поля кратности перекрытия.

Субрегулярные системы представляют собой нечто среднее между первым и третьим типами систем 3D. Очевидно, что при отсутствии возможности применения регулярной системы наблюдения, целесообразно проектировать субрегулярную систему 3D, поскольку она обеспечит распределение основных параметров, в любом случае, лучше, чем при полностью нерегулярной системе наблюдения.

При проектировании обычно выбирают наиболее оптимальный вид расстановки исходя из специфики поверхностных условий - наличия имеющихся просек или дорог, например, при планировании 3D в тайге, наличия в контуре участка съемки болот, техногенных препятствий и т.п.

В наши дни основной модификацией является расстановка типа «Крест», когда линии приема и возбуждения колебаний взаимно ортогональны. Помимо расстановки типа «Крест» к ортогональным также относят L-образные и T-образные расстановки. Они также обеспечивают прямоугольное по форме поле средних точек, размеры которого определяются половинами баз приемной линии и линии возбуждения. Но поскольку расстановки типа «Крест» являются по определению центральными системами, то именно они дают наиболее равномерное распределение основных параметров (азимутов подхода сейсмических лучей, спектров удалений источник - приемник и т.д.),

Таблица 2.1 - Преимущества и недостатки основных типов расстановок 3D

Тип расстановки	Преимущества	Недостатки
«Крест»	Простая геометрия, удобство при	Худшее, чем при других

	топогеодезических и производственных работах, оптимальная стоимость	системах, распределение удалений и азимутов
«Кирпич»	Хорошее, равномерное распределение азимутов и удалений, возможность увеличения интервала между приемными линиями	Нетехнологичность при топографических работах и производственной отработке
«Кнопка»	Возможность применения отстрела на отдельных участках (полянах в тайге, ровных участках в холмистой местности и т.д.)	Нетехнологичность при топографических работах и производственной отработке, худшее распределение азимутов и удалений
«Прямой зигзаг»	Лучшее равномерное распределение азимутов и удалений, возможность увеличения интервала между приемными линиями	Нетехнологичность при топографических работах и производственной отработке, применение только в пустынных местностях
«Обратный зигзаг»	Наилучшее равномерное распределение азимутов и удалений, возможность увеличения интервала между приемными линиями, минимум переездов при отработке	Нетехнологичность при топографических работах, применение только в пустынных местностях
«Радиальная»	Более удобная отработка околоскважинного пространства, применение в морской сейсморазведке и при отработке соляных куполов	Нетехнологичность при топографических работах и производственной отработке

при условии, что система рассчитана исходя из уже упомянутого соотношения максимальных удалений по обеим осям.

В сложных геоморфологических условиях (при залесенности, в населенных пунктах, заповедниках, чеках и т.д.) возникает необходимость применения неортогональных, неравномерных сетей наблюдения: «Радиальная», «Кирпич», «Зигзаг», «Кнопка» и другие.

Поскольку именно расстановки типа «Крест» получили наиболее широкое распространение (ввиду удобства, более простого проектирования и экономических показателей), рассмотрение основных принципов расчета,

некоторые из которых, кстати, справедливы и для других вариантов площадных систем, выполнено на примере вышеуказанной расстановки.

Были рассчитаны основные параметры крестовой расстановки,

Таблица 2.2 - Рассчитанные параметры системы 3D

№	Параметр	Значение
1	Шаг дискретизации по поверхности	50×50м
2	Шаг дискретизации по глубине	25×25м
3	Кратность перекрытия по оси X	6
4	Кратность перекрытия по оси Y	6
5	Суммарная кратность	36
6	Количество каналов в линии приема	84
7	Количество линий приема	6
8	Количество каналов в блоке	504
9	Количество пунктов возбуждения в блоке	48
10	Расстояние между пунктами приема	50 м
11	Расстояние между пунктами возбуждения	50 м
12	Расстояние между линиями приема	200 м
13	Расстояние между линиями возбуждения	350 м
14	Размер единичной клетки	350×200 м
15	Наибольший минимальный вынос X_{min}	403 м
16	Максимальное удаление по оси X	2050 м
17	Максимальное удаление по оси Y	1650 м
18	Максимальное удаление по осям X, Y	2632 м

Основная специфика расчета регулярных систем заключается в подборе параметров, обеспечивающих наибольшую технологичность и экономичность полевой системы.

В третьем разделе описаны результаты работ. Выбор в основе системы наблюдения 3D расстановки типа «Крест», исходил из необходимости получить равномерное распределение азимутов и спектров удалений в бинах по всей площади, поскольку Учебный участок характеризуется как площадь с достаточно простыми поверхностными, но чрезвычайно сложными глубинными сейсмогеологическими условиями.

Все обозначенные выше параметры были приняты в качестве исходных. Остальные же рассчитывались по ним (выбранным изначально).

Поскольку проектом работ предусматривалась кратность по оси Y равная 6, то соответственно приемный блок расстановки должен был включать 6 приемных линий. Расстояние между линиями приема было выбрано равным 200 метрам. На технологичность и на время проведения полевых работ это не оказало существенного влияния, потому что площадь участка исследования с точки зрения сейсморазведки 3D была весьма незначительна - всего порядка 11 км², и для того чтобы полностью покрыть ее достаточно было отработать всего 4 полосы.

Исходя из наличия сейсмоприемников, было принято решение, согласно которому в момент возбуждений сейсмических колебаний на каждой линии приема должно было быть подключено по 96 активных каналов. Тогда общее количество активных каналов в блоке составило $6 \times 96 = 576$. Для обеспечения необходимой кратности перекрытия по оси Y, количество пунктов возбуждения в каждой ЛВ должно было составить $m_v = (2 \times 6 \times 200) / 50 = 48$. Таким образом, был рассчитан блок приемной крестовой расстановки.

После этого оставалось вычислить только шаг между линиями возбуждения для поддержания проектной кратности $N_x = 6$, максимальные удаления по осям X и Y, абсолютное (по обеим осям) максимальное удаление, величину наибольшего минимального выноса в пределах единичной клетки и необходимые выносы первой и последней ЛВ на крайних блоках полос от контура полной кратности (ПКР).

Шаг перекоммутации блоков по полосам (или, другими словами, расстояние между линиями возбуждения) был рассчитан по уже определенным N_x (кратность по оси X), δ_x (расстояние между пунктами приема на каждой ЛП), m_x (количество активных каналов в каждой приемной линии) и составил $\Delta X = (50 \times 96) / (2 \times 6) = 400$ метров. Соответственно, единичная клетка имела размеры 400x200 метров, а наибольший минимальный вынос определялся как $X_{min} = \sqrt{400^2 + 200^2} = 447$ метров.

Максимальное удаление по оси X для рассчитанной расстановки составляет $X_{\max}=0.5 \times (96-1)/50=2375$ метра.

А по оси Y, соответственно, $Y_{\max}=200 \times 0.5 \times (6-1) + (0.5 \times 48-1) \times 50 + 0.5 \times 50=1675$ метров (предполагалось наличие окна размером 50 метров в центре ЛВ).

Максимальное удаление по обеим осям, очевидно, равно $S_{\max}=\sqrt{2375^2 + 1675^2}=2906$ метров. Такая величина максимального удаления вместе с длиной записи 3 секунды обеспечивали глубинность исследования вплоть до рифейских пород кристаллического фундамента, которые в пределах Учебного лицензионного участка залегают на глубинах порядка 2100-2200 метров от земной поверхности.

Затем по способу обобщенной плоскости были построены схемы набора кратности по осям X и Y. Первая и последняя ЛВ должна быть вынесена за контур полной кратности (ПКР) на расстояние 810 метров. При этом в каждой линии приема достаточно иметь по 56 активных каналов на крайних блоках, тем самым сэкономились $(96-56) \times 6=240$ групп сейсмоприемников для перекоммутации блоков, а в конце полосы - для размотки следующей полосы приема. Сокращение зоны набора (клина) кратности при неполной размотке принципиального значения не имело, поскольку и так небольшой по площади участок съемки должен был целиком попадать в пределы контура ПКР. Из схемы кратности следует, что первая и последняя линии приема удалены от контура ПКР на 162.5 метра.

Не производился расчет дополнительной апертуры миграции для площадей, отрабатываемых системами наблюдения 3D. Объясняется это тем, что для обеспечения качественной трехмерной миграции совсем необязательно отрабатывать дополнительные участки на местности.

Количество полос (для Учебного участка, напомним, была необходима отработка 4 полос) и блоков в каждой полосе (в нашем случае их число составило 18), зависит от поперечных размеров участка съемки и шага перекоммутации блоков по полосам.

Все рассчитанные параметры системы наблюдения 3D для отработки Учебного участка представлены в Таблице 3.2.

Таблица 3.2 - Параметры системы наблюдения 3D для отработки Учебного участка

№	Параметр	Значение
1.	Площадь участка съемки	11.2 км ²
2.	Шаг дискретизации по поверхности	50 × 50 м
3.	Шаг дискретизации по глубине	25 × 25 м
4.	Размер площадки бина	25 × 25 м
5.	Кратность перекрытия по оси X	6
6.	Кратность перекрытия по оси Y	6
7.	Суммарная кратность	36
8.	Количество каналов в линии приема	96
9.	Количество линий приема	6
10.	Количество каналов в блоке	576
11.	Количество пунктов возбуждения в блоке	48
12.	Расстояние между пунктами приема	50 м
13.	Расстояние между пунктами возбуждения	50 м
14.	Окно в центре линии возбуждения	50 м
15.	Расстояние между линиями приема	200 м
16.	Расстояние между линиями возбуждения	400 м
17.	Размер единичной клетки	400×200 м
18.	Наибольший минимальный вынос X _{min}	447 м
19.	Максимальное удаление по оси X	2375 м
20.	Максимальное удаление по оси Y	1675
21.	Максимальное удаление по осям X, Y	2906
22.	Количество блоков в полосе	18
23.	Количество полос на участке съемки	4
24.	Суммарное количество пунктов возбуждения	2023
25.	Плотность пунктов возбуждения	181 ПВ/км ²

По данным расчета этих параметров совместно с информацией о физико-географических (поверхностных) условиях Учебной площади с помощью специализированной программы производства американской компании была получена схема обработки площади. Из нее видно, что реальное расположение линий возбуждения и приема на местности соответствует практически идеально равномерной прямоугольной сетке. Разумеется, в действительности позиции некоторых пунктов возбуждения и приема на местности были скорректированы исходя из поверхностных условий, но именно такая схема целиком и полностью отвечает понятию регулярной системы 3D со всеми вытекающими отсюда выводами.

Приводить в данном случае схему поля кратности не имеет смысла, поскольку при полученном расположении ЛП и ЛВ на местности колебания (проседания) кратности в пределах участка съемки были весьма незначительны, и она оставалась на уровне проектной величины $N_{xy}=36$ в пределах всей площади работ за исключением, естественно, зон набора своего максимального значения.

Заключение. В заключение следует сказать, что основные результативные материалы были представлены главным образом структурными картами по целевым горизонтам и картами толщин между ними. Очевидно, что при расчете описанной системы наблюдения отсутствовала необходимость применения нетрадиционных приемов размещения пунктов возбуждения и приема колебаний на местности. Приведенная в качестве примера площадная расстановка характеризовалась относительной простотой в проектировании и обработке в поле, но при этом она обеспечила результат весьма высокого уровня.

Учебный участок характеризуется простыми поверхностными, но чрезвычайно сложными глубинными сейсмогеологическими условиями. Для исследуемой площади характерна сложно изрезанная глубинная первая жесткая граница с большим перепадом углов наклона на различных участках обуславливала сложную геометрию лучей отраженных и преломленных волн,

что предопределило трудность прослеживания нижележащих отражающих горизонтов. Для решения обозначенных трудностей на этапе обработки данных 3D выполнялись процедуры, связанные с математическим осреднением первой жесткой границы единой сглаживающей поверхностью.

Синтезируемая расстановка системы наблюдения, применявшаяся при отработке Учебного участка, стала оптимальным решением с точки зрения соотношения между временем, затраченным на работы, стоимостью работ и качественными технологическими показателями.