

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И.Сатпаева

Горно-металлургический институт имени О.А.Байконурова

Кафедра «Горное дело»

Сагын Рахымбек Аскарлович

“Маркшейдерское обеспечение при разработке нефтяного
месторождения”

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Специальность 7М07203 – «Горная инженерия»

Алматы 2022 г.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И.Сатпаева

Горно-металлургический институт имени О.А.Байконурова

Кафедра «Горное дело»

УДК 622.271 (043)

На правах рукописи

Сагын Рахымбек Аскарлович

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

На соискание академической степени магистра

Название диссертации: “Маркшейдерское обеспечение при
разработке нефтяного месторождения”

Направление подготовки: 7М07203 – «Горная инженерия»

Научный руководитель
Доктор техн. наук, профессор
Ж. Д. Байгурын
« 26 » 05 2022 г.

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
НАО «КазНТУ им.К.И.Сатпаева»
Горно-металлургический институт
им. О.А. Байконурова

Рецензент
Доктор техн. наук, ст. преподаватель
Ш.Ш. Бекбасаров
« 26 » 05 2022 г.

Қолтаңбаны растаймын
Подпись заверяю

« 30 » 05 2022 г.

Нормоконтроль
Ведущий инженер
Д.С. Мендекинова
« 25 » 05 2022 г.

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой ГД
доктор техн. наук, профессор
С.К. Молдабаев
« 27 » 05 2022 г.

Алматы 2022 г

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И.Сатпаева

Горно-металлургический институт имени О.А.Байконурова

Кафедра «Горное дело»

Специальность 7М07203 – «Горная инженерия»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой «Горное дело»
доктор технических наук, профессор

С.К.Молдабаев

«27» 05 2022 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение магистерской диссертации

Магистранту Сагын Рахымбек Аскарвичу

Тема: «Маркшейдерское обеспечение при разработке нефтяного месторождения»

Утверждено приказом Ректора Университета № 2028 от «23» ноября 2020 г.

Срок сдачи законченной диссертации «25» 05 2022 г.

Исходные данные к магистерской диссертации:

Обзорная, геологическая карта, текстовые, графические материалы, полученные при маркшейдерско-геодезических работах;

Архивные данные спутника Sentinel-1;

Перечень подлежащих разработке в магистерской диссертации вопросов:

а) Выполнить маркшейдерские работы на нефтяном месторождении;
б) Изучение особенностей маркшейдерских работ на месторождениях нефти и газа;

в) Выполнить анализ современных методов наблюдений за деформацией земной поверхности;

г) Изучить новейшие технологии радарной интерферометрии и специальные программные обеспечения для обработки результатов. Выполнить радарную интерферометрию, на основе архивных снимков спутника Sentinel-1.

Рекомендуемая основная литература:

1 Modeling of geodynamic processes at hydrocarbon deposit / Kenesbayeva A, Nurpeisova M, Levin E. // Вестник Satbayev University. Series of geology and technical sciences. – 2021. - №4 (448). - С.6–8. - ISSN 2224-5278.

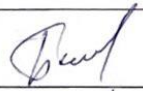
2 TOPS Interferometry Tutorial / Andreas Braun, Luis Vec//
Электронная версия на сайте <https://step.esa.int/docs/tutorials/>

ГРАФИК
Подготовки магистерской диссертации

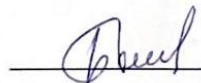
Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Маркшейдерские работы на нефтяном месторождении	19.03.2021 г.	
Изучение особенностей маркшейдерских работ на месторождениях нефти и газа	21.09.2021 г.	
Выполнить анализ современных методов наблюдений за деформацией земной поверхности;	05.02.2022 г.	
Изучить новейшие технологии радарной интерферометрии и специальные программные обеспечения для обработки результатов. Выполнить радарную интерферометрию, на основе архивных снимков спутника Sentinel-1.	10.04.2022 г.	

Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченную магистерскую диссертацию с указанием относящихся к ним разделов работы

Названия разделов	Консультант	Дата подписания	Подпись
Специальный раздел	Байгурин Ж. Д., доктор техн. наук, профессор	01.04.2022 г.	
Экономический раздел	Байгурин Ж. Д., доктор техн. наук, профессор	22.04.2022 г.	
Нормоконтроль	Мендекинова Д.С., ведущий инженер	26.05.2022 г.	

Научный руководитель, доктор тех. наук



Байгурин Ж. Д.

Задание принял к исполнению магистрант



Сагын Р. А.

Дата

« 20 » 05 2022 г.

АНДАТПА

Мұнай-газ кен орындарын игеру кезінде пайда болатын табиғи және техногендік генезистің геодинамикалық оқиғалары жыл сайын көбірек назар аударады. Бұл диссертацияда көмірсутектер кен орнын игеру барысында геодинамикалық мониторингтің қажеттілігі атап көрсетіледі және Қазақстанның Маңғыстау облысы Түпқараған ауданындағы, Бозашы түбегінде орналасқан Қаражанбас кен орнындағы геодинамикалық мониторингтің жай-күйі сипатталады.

Жоғары дәлдіктегі геометриялық нивелирлеу - бұл геодинамикалық процестер туралы түсінік бере алатын әдістердің бірі. Бұл магистрлік диссертация мұнай мен газ өндірумен байланысты жер бетінің деформациясын зерттеудің геодезиялық әдістерін талдауға арналған. Атап айтқанда, ол InSAR технологиясын, сондай-ақ Қаражанбас мұнай кен орны мысалында көп жүрісті радарлық бейнелерді өңдеу үшін SBAS технологиясын қолдануға баса назар аударады.

Осы жоба үшін қолданылатын маркшейдерлік-геодезиялық әдістерге радар интерферометриясы (InSAR), радар дифференциалды интерферометриясы (DInSAR), дәл нивелирлік түсірілім және SBAS алгоритмі жатады.

Суреттер Alaska Satellite Facility (ASF) қызметі арқылы Sentinel-1 спутнигінің суреттер мұрағатынан алынды. ASF сонымен қатар бүкіл әлемдегі ғылыми пайдаланушылар арасында қашықтықтан зондтау деректерін өңдейтін, мұрағаттайтын және тарататын құрал болып табылады.

АННОТАЦИЯ

Геодинамические события природного и техногенного генезиса, происходящие при разработке месторождений углеводородов, с каждым годом привлекают всё больше внимания. В данной диссертации подчеркивается необходимость геодинамического мониторинга в ходе разработки месторождения углеводородов и описывается состояние геодинамического мониторинга на месторождении Каражанбас, расположенном в Тупкараганском районе Мангистауской области Казахстана, на полуострове Бузачи.

Высокоточное геометрическое нивелирование - это один из методов, который может дать представление о геодинамических процессах. Эта магистерская диссертация посвящена анализу геодезических методов для изучения деформаций земной поверхности, связанных с добычей нефти и газа. В частности, в нем основное внимание уделяется применению технологии InSAR, и также SBAS для обработки многопроходной серии радарных изображений на примере нефтяного месторождения Каражанбас.

Маркшейдерско-геодезические методы, используемые для этого проекта, включают радарную интерферометрию (InSAR), радарную дифференциальную интерферометрию (DInSAR), точную нивелирную съемку и алгоритм SBAS.

Изображения были получены из архива снимков спутника Sentinel-1, с помощью сервиса Alaska Satellite Facility (ASF). ASF также является средством, который и обрабатывает, и архивирует и распространяет данные дистанционного зондирования среди научных пользователей по всему миру.

ANNOTATION

Geodynamic events of natural and technogenic genesis occurring during the development of hydrocarbon deposits attract more and more attention every year. This dissertation emphasizes the need for geodynamic monitoring during the development of a hydrocarbon field and describes the state of geodynamic monitoring at the Karazhanbas field located in the Tupkaragan district of the Mangistau region of Kazakhstan, on the Buzachi peninsula.

High-precision geometric leveling is one of the methods that can give an idea of geodynamic processes. This master's thesis is devoted to the analysis of geodetic methods for studying the deformations of the Earth's surface associated with oil and gas production. In particular, it focuses on the application of InSAR technology, as well as SBAS for processing a multi-pass series of radar images on the example of the Karazhanbas oil field.

Mine surveying and geodetic methods that are used for this project include radar interferometry (InSAR), radar differential interferometry (DInSAR), precision leveling and the SBAS algorithm.

The images were obtained from the archive of images of the Sentinel-1 satellite, using the Alaska Satellite Facility (ASF) service. ASF is also a tool that processes, archives and distributes remote sensing data to scientific users around the world.

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ

SAR - радар с синтезированной апертурой

InSAR - спутниковая радарная интерферометрия

DInSAR - дифференциальная радарная интерферометрия

PSInSAR - интерферометрия с постоянным рассеивателем

SBAS - метод малых базовых линий

SVD - декомпозиции сингулярного значения

LOS - линия прямой видимости

DEM - цифровая модель рельефа

PS - постоянные рассеиватели

ГНСС - глобальная навигационная спутниковая система

GPS - система глобального позиционирования

МУН - методы увеличения нефтеотдачи

LP - нижние частоты

HP – высокие частоты

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	10
1 Геодинамический мониторинг земной поверхности и объектов нефтегазовой промышленности	13
1.1 Общая геологическая характеристика месторождения Каражанбас	13
1.2 Маркшейдерско-геодезические работы на месторождении Каражанбас.	16
1.2.1 Основные виды работ Маркшейдерско - Геодезической Службы на м/р Каражанбас	16
1.2.2 Характеристика выполняемых работ	17
1.2.3 Маркшейдерские работы на нефтяном месторождении	18
1.2.4 Работа в AutoCAD	25
1.3 Геодинамический мониторинг	26
2 Применение метода радарной спутниковой интерферометрии SAR при разработке нефтегазовых месторождений	28
2.1 Основы радарной интерферометрии	28
2.2 Методы радарной интерферометрии. InSAR and DInSAR.	28
2.2.1 Интерферометрия SAR (InSAR)	28
2.2.2 Дифференциальный InSAR (DInSAR)	33
2.2.3 Технология PSInSAR	38
2.2.4 Алгоритм SBAS	40
2.3 Возможные направления применения спутниковой интерферометрии в нефтегазовом комплексе	45
3. Применение метода интерферометрии SAR для определения деформации земной поверхности на примере месторождения Каражанбас	48
3.1 Этапы обработки InSAR	48
3.2 Обработка методом SBAS	54
4 Мероприятия по охране недр и окружающей среды	58
4.1 Охрана недр	58
4.2 Охрана окружающей среды	58
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	62
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	63

ВВЕДЕНИЕ

Западные регионы Казахстана богаты залежами углеводородов. Здесь многие нефтегазовые компании уже давно интенсивно разрабатывают месторождения. В результате происходит деформация земной поверхности, в некоторых местах достигающая значительных значений. Для оценки деформационных характеристик земной поверхности и предупреждения возможных экономических и экологических последствий Правительство Республики Казахстан приняло Постановление о создании 30 геодинамических полигонов в районах разработки месторождений полезных ископаемых.

Для осуществления мониторинга современного геодинамического состояния недр на месторождениях нефти и газа необходима организация систематических (повторных) маркшейдерско-геодезических наблюдений на специально созданных геодинамических полигонах.

Как известно, основу информации о пространственно-временной структуре современного геодинамического состояния среды составляют повторные геодезические измерения, проводимые на трех масштабных уровнях описания процессов: региональном, зональном и локальном. В настоящее время наиболее полная информация может быть получена по данным повторных нивелирований (вертикальная компонента движений). Это обусловлено целым рядом причин. Нивелирные измерения более технологичны и выполнены с гораздо большей точностью. С другой стороны, при прочих равных условиях, вертикальная составляющая аномальных смещений земной поверхности (свободной от напряжений) существенно превышает горизонтальную компоненту. Известно, что одним из необходимых условий создания эффективной системы мониторинговых измерений является оптимизация ее основных параметров: конфигурация измерительных сетей, густота наблюдательных пунктов, частота повторных наблюдений и точность измерений.

Для создания регламента измерений необходимо определить основные аномальные формы проявлений современного геодинамического состояния при разработке нефтегазовых месторождений.

Актуальность

Маркшейдерское обеспечение при разработке нефтяного месторождения весьма разнообразно по своему характеру деятельности на всех стадиях освоения месторождений – разведка, проектирование, строительство (реконструкция), эксплуатация и ликвидация (консервация), а также при строительстве объектов обустройства месторождений.

Известно, что ряд видов человеческой деятельности, связанных с нефтяной промышленностью, вызывают или даже приводят к антропогенным землетрясениям различной магнитуды.

Потеря земель особенно заметна в прибрежных районах, где небольшое снижение поверхности суши может привести к постоянному затоплению; и

впервые это произошло на нефтяном месторождении Гуз-Крик вдоль побережья Мексиканского залива в Техасе, США, где дороги и береговые линии были полностью повреждены. Месторождение Уилмингтон в Лонг-Бич, Калифорния, стало еще одним драматическим случаем проседания грунта из-за добычи нефти и газа, в результате которого произошло проседание почти на 9 м и нанесло структурный ущерб наземным сооружениям (например, железным дорогам и мостам).

Примеры повреждений инфраструктуры на нефтяных и газовых месторождениях в результате добычи ясно показывают необходимость мониторинга процессов на месторождении. Знание геодинамических процессов может привести к разработке подходов к смягчению последствий.

Таким образом, оценка смещения земной поверхности в результате деятельности по добыче нефти имеет решающее значение для эффективной добычи нефти на месторождениях и оценки безопасности окружающей инфраструктуры.

Новизна темы

Высокоточное нивелирование и Глобальная навигационная спутниковая система (ГНСС), как правило, предоставляют точные данные. Однако, эти методы, которые требуют большого количества повторных наблюдений, а также наземного доступа, не только трудоемки и дорогостоящи, но и ограничены для измерения изменений в труднодоступных районах.

Интерферометрический радар с синтезированной апертурой (InSAR) является эффективным методом дистанционного зондирования, который подтвердил точную оценку движений земной поверхности, с использованием фазовой информации изображений SAR. Этот метод, являющийся общепринятой во всем мире практикой долгосрочного измерения движений земной поверхности, позволяет составлять карты больших площадей при низких затратах, а также снизить риски аварийных ситуаций, повысить достоверность прогнозирования геофизических процессов и предоставит качественный материал для оптимизации решений, принимаемых при разработке и эксплуатации месторождений.

Технология InSAR был успешно использован для обнаружения смещения земной поверхности над нефтяными и геотермальными месторождениями, такими как геотермальное месторождение Хеллишди, нефтяное месторождение Западного Техаса и нефтяное месторождение Кушинг в восточной части Центральной Оклахомы, и также на месторождений Тенгиз.

Данная работа будет определенным вкладом в развитие маркшейдерско-геодезических методов наблюдения за деформациями инженерных сооружений при геологическом изучении и разработке месторождений нефти и газа.

Цель: Целью данного исследования является количественная оценка скорости смещения земной поверхности (оседания и подъема) над нефтяным месторождением Каражанбас.

Основные задачи:

- Изучение особенностей маркшейдерских работ на месторождениях нефти и газа;
- Изучение геодинамических процессов, происходящих при разработке месторождений углеводородов в западном регионе Казахстана.
- Выполнить анализ существующих методик инженерно-геодезических изысканий линейных сооружений;
- Выполнить анализ современных методов наблюдений за деформацией земной поверхности;
- Выполнить радарную интерферометрию на основе спутниковых снимков из архива данных Sentinel-1.

Таблица 1.1 - Сведения о районе буровых работ

Наименование	Значение (текст, название, величина)
Площадь (месторождение)	Каражанбас
Блок (номер и/или название)	группа вертикальных эксплуатационных и нагнетательных скважин
Административное расположение:	
республика	Казахстан
область (край)	Мангистауская
район	Тюбкараганский
Год ввода площади в бурение	1980
Год ввода площади (месторождения) в эксплуатацию	1981
Температура воздуха, С°:	
среднегодовая	+ 9,1 °С
наибольшая летняя	выше + 40 °С
наименьшая зимняя	до – 25-30 °С
Среднегодовое количество осадков, мм	100-150
Максимальная глубина промерзания грунта, м	0,5
Продолжительность отопительного периода в году, сут	158
Продолжительность зимнего периода в году, сут	95
Азимут преобладающего направления ветра, град	Северо-Восточный
Наибольшая скорость ветра, м/с	28
Сейсмичность района работ	6,0

Таблица 1.2 - Сведения о площадке строительства буровой

Наименование	Значение (текст, названия, величина)
Рельеф местности	Холмистый, равнинный, пересеченный
Состояние местности	Сор, незаболоченное
Толщина снежного покрова, см	10-15
Почвенного слоя (гумус), см	Отсутствует
Растительный покров, см	полынь, солянка, колючка
Категория грунта	Вторая

Таблица 1.3 - Размеры, отводимые во временное пользование земельных участков

Назначение участка	Размер, га	Источник нормы отвода земель
Строительство буровой установки и размещение оборудования и техники	0,48 га	СН 459-74

Пиковая добыча составила примерно 43,43 тыс. баррелей сырой нефти и конденсата в сутки и 5 млн куб. футов природного газа в сутки, как показано на рисунок 1.2. Исходя из экономических предположений, добыча будет продолжаться до тех пор, пока месторождение не достигнет своего экономического предела в 2046 году. В настоящее время на месторождение приходится около 2% ежедневной добычи в стране.

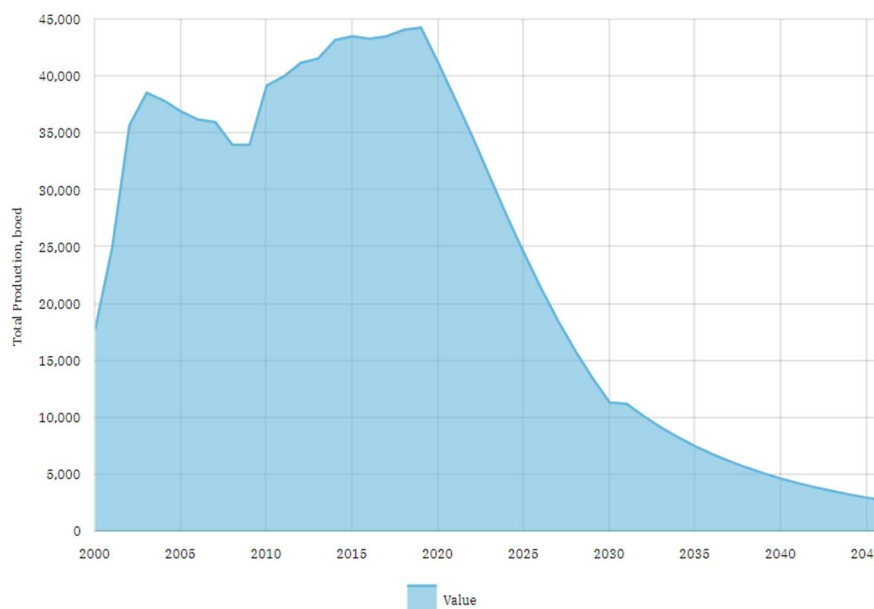


Рисунок 1.2 Динамики добычи нефти на Каражанбас, в тыс. барр.

Ожидается, что на месторождении будет извлечено 107,44 млн барр. н.э., включая 101,49 млн барр. сырой нефти и конденсата и 35,71 млрд куб. футов запасов природного газа, т.е. примерно 94% (рисунок 1.3). Запасы месторождений тяжелой нефти Каражанбас составляют 0,25% от общих остаточных запасов разрабатываемых месторождений тяжелой нефти в мире[1].

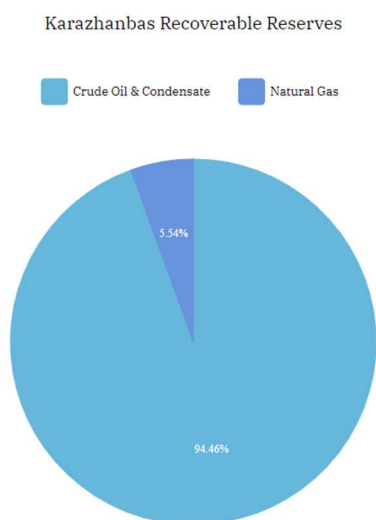


Рисунок 1.3 Остаточные извлекаемые запасы

Нефть традиционно добывалась на месторождении Каражанбас в основном за счет процесса извлечения, известного как холодная добыча тяжелой нефти с песком (CHOPS), и закачки воды в зону эксплуатационного бурения.

Нефть, добываемая на месторождении Каражанбас, транспортируется в порты Черного или Балтийского морей по трубопроводам (рисунок 1.4), а затем доставляется на основные рынки Европы нефтяными танкерами.

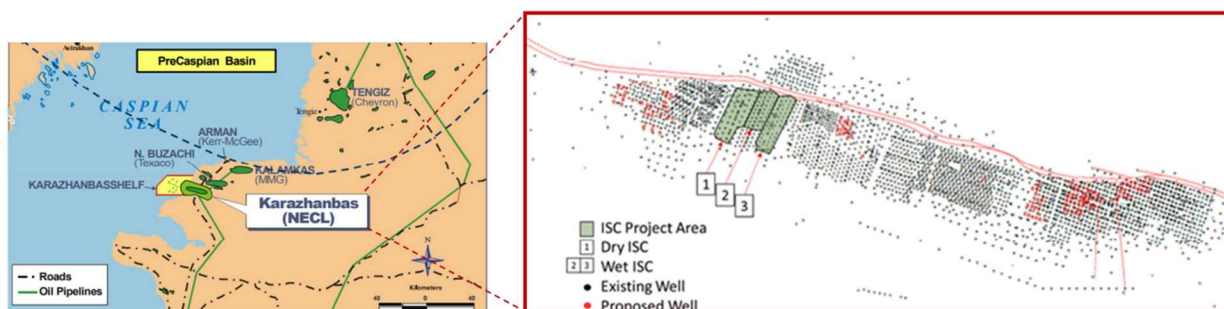


Рисунок 1.4 Карта месторождения Каражанбас с расположением термических МУН

В настоящее время на месторождении Каражанбас проводятся опытно - промышленные работы по внедрению двух основных технологий повышения нефтеотдачи пластов термическими методами – внутрипластового влажного горения и паротеплового воздействия на пласт.

Оба метода в условиях месторождения Каражанбас применяются с хорошей технологической и экономической эффективностью.

Но параллельно и имеются проблемы с осадкой асфальто - смолистых веществ в добывающих скважинах.

Основными осложнениями при эксплуатации скважин на месторождении Каражанбас являются: обводнение и пескопроявления.

1.2 Маркшейдерско-геодезические работы на месторождении Каражанбас.

1.2.1 Основные виды работ Маркшейдерско - Геодезической Службы на м/р Каражанбас

- 1) построение и развитие опорной маркшейдерской сети планово высотного обоснования на территории месторождения;
- 2) выполнение совместно с геологической службой и контроль за производством работ, связанных с геометризацией месторождения;
- 3) мониторинг обводнённых и замазученных участков месторождения;
- 4) маркшейдерские обеспечение программ бурения, ликвидации, переликвидации скважин;
- 5) мониторинг уровня грунтовых вод и уровня Каспийского моря;

- 6) мониторинг защитных сооружений (морская дамба);
- 7) участие в разработке проектов реконструкции, консервации и ликвидации различных объектов, проектов и схем разработки месторождения;
- 8) участие в разработке проектов и оформлении материалов для получения участков земельных и горных отводов для нужд Компании, контроль за соблюдением границ и использованием их по назначению согласно земельному кодексу РК;
- 9) производство дополнительных съёмок и создание схем, планов и карт территорий и производственных объектов месторождения;
- 10) контроль за деформациями земной поверхности, эксплуатируемых зданий и инженерных сооружений;
- 11) производство всех видов пространственно-линейных измерений по производственной необходимости подразделений Компании;
- 12) согласование планов и приёмка маркшейдерских работ, выполняемых подрядными организациями;
- 13) разбивочные и съёмочные работы при строительстве и реконструкции инженерных сооружений;
- 14) топографо-геодезические работы при размещении и проектировании объектов на территории месторождения;
- 15) геодезическое обеспечение строительно-монтажных работ выполняемых силами подразделений Компании;
- 16) приёмка и передача маркшейдерско-геодезической основы для производства строительно-монтажных работ, выполняемых подрядными организациями.

1.2.2 Характеристика выполняемых работ

Система координат: местная

Система высот: Балтийская

1.Плановое съёмочное обоснование выполняется с применением инструментов (эл. Тахеометров) Leica TC805, TS-06 и системы теодолитных ходов точностью 1:2000.

2.Высотное съёмочное обоснование выполняется с применением инструментов TC 805, TS-06 и техническим нивелированием по точкам теодолитного хода.

3.Уравнивание съёмочного обоснования выполняются: на ПК при помощи программы “LeicaGeosystems”.

4. Методы съёмки:

Тахеометрическая съёмка М 1:1000 с применением электронных тахеометров Leica TC 805, TS-06.

Камеральная обработка производится на ПК с помощью программ AutoCAD 2007, 2015. В результате камеральных работ получают планы территории.

1.2.3 Маркшейдерские работы на нефтяном месторождении

– Топографическая съёмка (рисунок 1.5)

Съёмка местности в масштабе 1:1000 выполнялась согласно “Инструкции по топографической съёмке в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000, и 1:500”, в соответствии с требованиями технического задания с набором точек, обеспечивающих достоверное построение рельефа и топографической ситуации.

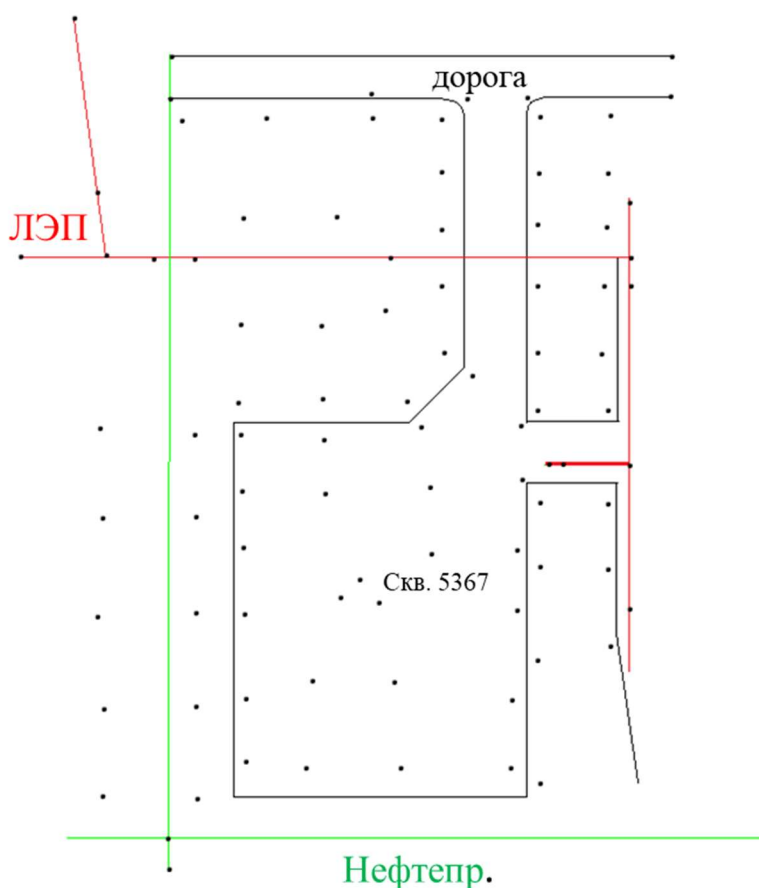


Рисунок 1.5 - Процесс топографической съёмки

При съёмке Маркшейдер ведутся абрисы (рисунки 1.6–1.7). Абрисы оформляются с использованием условных знаков (с пояснительными подписями), выдерживая масштаб съёмки. Абрис ведется на отдельных для каждой станции листах. При съёмке речные точки без пропусков и равномерно покрывают территорию съёмки.

Съёмке подлежат объекты добычи, первичной переработки и подготовки природных ископаемых (нефти, газа) для транспортировки, такие как цеха добычи нефти и газа (ЦДНГ), центральные пункты подготовки нефти (ЦППН), дожимные насосные станции (ДНС), кустовые насосные станции (КНС). К основному участку работ относится большая незастроенная прилегающая территория.

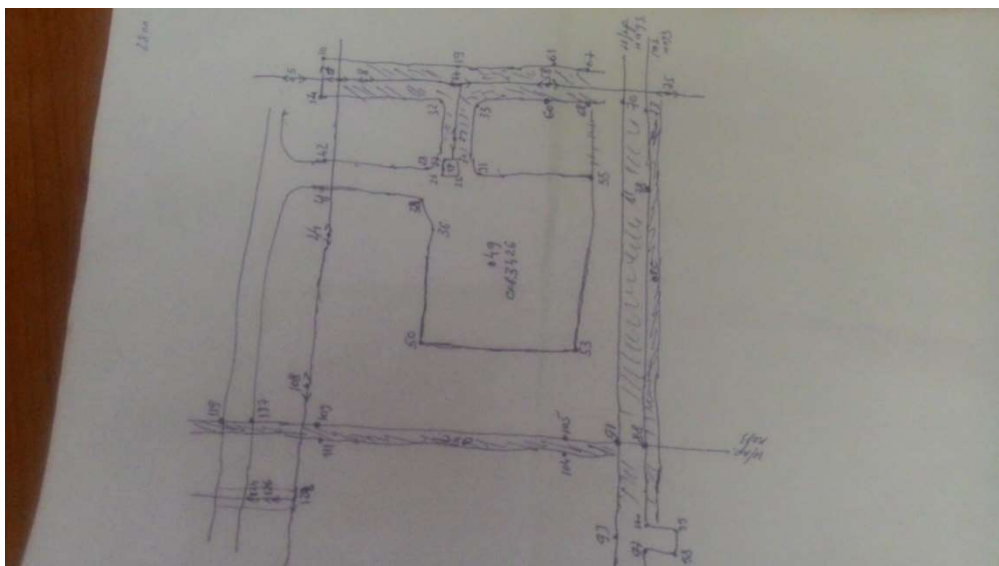


Рисунок 1.6 - Абрис (скв.3426)

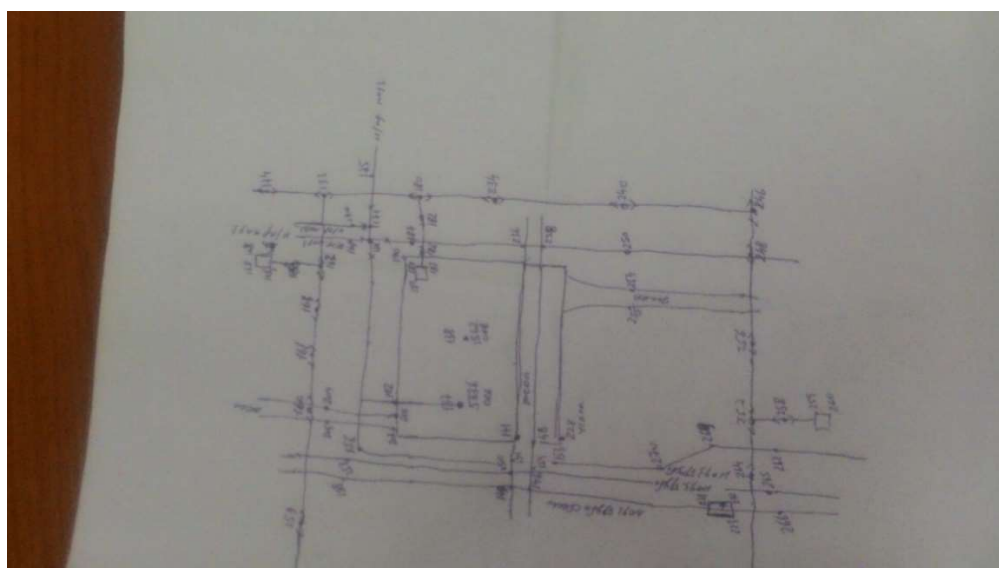


Рисунок 1.7 - Абрис (скв.5636)

Реечники передвигаются по заранее намеченным маршрутам, фиксируя как при обычной тахеометрической съемке все характерные точки местности (переломные точки рельефа, ситуационные и другие характерные точки местности). Координаты точек местности, появляющиеся на дисплее контроллера, записываются на магнитные носители информации простым нажатием кнопки.

Возникают трудности при съемке линейных коммуникаций: трубопроводов, опор линий электропередачи и т.д., поэтому необходимо обеспечить видимость между пунктами съемочной сети.

Все собранные данные обрабатываются в программе AutoCAD. После объединения данных, приведенных к одному формату, информация разбивается по слоям. Для объектов нефтяной и газовой промышленности

используется классификатор, созданный на основании требований, предъявляемым к системам классификации объектов.

Каждый объект выделяется соответствующим цветом при соединении пикетов для дальнейшей его обработки. Как видно из рисунков 1.7, 1.8 перед обработкой проверяются все опорные точки.

Соединение пикетов происходит от общего к частному, используя абрис. На первом этапе отображаются большие площадные объекты. После этого более мелкие, площадные и линейные. Затем точечным объектам присваиваются необходимые символы. Таким образом, создаётся конечный результат топографической съемки – цифровая модель местности.

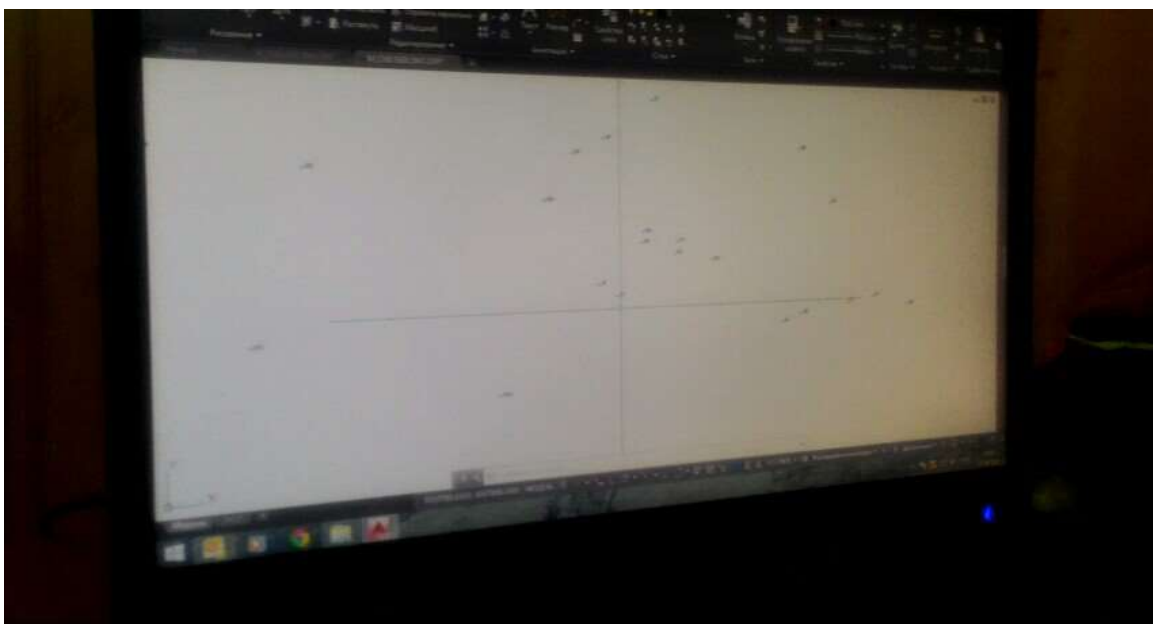


Рисунок 1.8 - Обработка данных в AutoCAD

Все данные полученные с съемки отправляются в геологический отдел, при несоответствии данных составленная цифровая модель проверяется исполнителем на местности путем сравнения и проведением контрольных замеров.

– Вынос в натуру и разбивка углов трассы, площадок скважин

Вынос проекта в натуру — это перенос точек какого-либо объекта с плана на местность с последующим закреплением его высотного и планового расположения, а также выделение границ необходимого участка при помощи специального геодезического оборудования.

Перед началом работ необходимо занести данные с координатами пикетов в прибор. При выезде на участок надо установить тахеометр на точке стояния, направить его на точку ориентирования. После этого указать координаты обеих точек в меню прибора и далее прибор «подскажет» куда ее повернуть и на каком расстоянии в указанном направлении установить точку.

«Подсказывать» инструмент может как звуковым сигналом, так и числовыми показателями на дисплее.

Процесс выноса точек земельного участка в натуру осуществляется по проектным чертежам (рисунок 1.9). При этом расстояния и углы на местности откладываются без изменений и масштабирования. Происходит это следующим образом:

- по координатам ключевых точек производится расчёт проектных расстояний и углов;
- полученные углы и расстояния откладываются на местности.

Точное место установки маркера (точки) определяется с помощью специального отражателя.

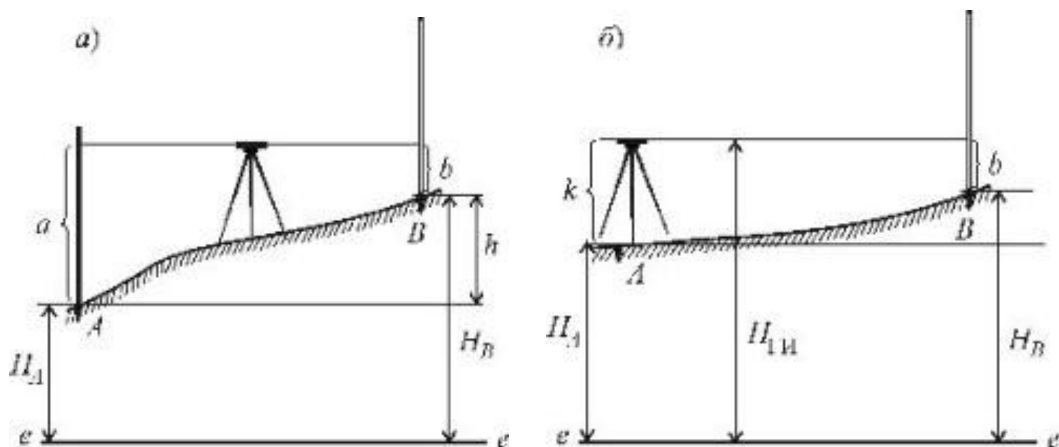
Работы по выносу в натуру участков трубопроводов на территории ГЗУ-33, ГЗУ-34ПТВ, ГЗУ-6, ГЗУ-12ВВГ на месторождении Каражанбас, производились с использованием электронного тахеометра Leica TC805, TS-06 от ранее закреплённых тригопунктов №22А, 24А, 26А, 32А, 33А, 34А, 2422 А, RAVNINA, FM, 4254А, 5430А и закреплёны на местности деревянными кольями с соответствующими обозначениями.



Рисунок 1.9 - Процесс работы

- Нивелирование. Нивелирный ход

Нивелирование выполняют, используя нивелир и рейки. Отсчеты берут по шкалам устанавливаемых вертикально нивелирных реек. Нивелирование выполняют двумя способами - «из середины» и «вперед» (рисунок 1.10).



а) Из середины, б) Вперёд
Рисунок 1.10 Способы нивелирования

Если точки А и В, расположены так, что измерить между ними превышение с одной установки нивелира невозможно, превышение измеряют по частям, то есть прокладывают нивелирный ход (рисунок 1.11).

Превышения вычисляют по формулам:

$$h_1 = a_1 - b_1, \quad (1.1)$$

$$h_2 = a_2 - b_2, \quad (1.2)$$

$$h_3 = a_3 - b_3; \quad (1.3)$$

а высота точки В определится по формуле

$$h = h_{\text{приб}} - b \quad (1.4)$$

Расчет проводится в мм. и м.

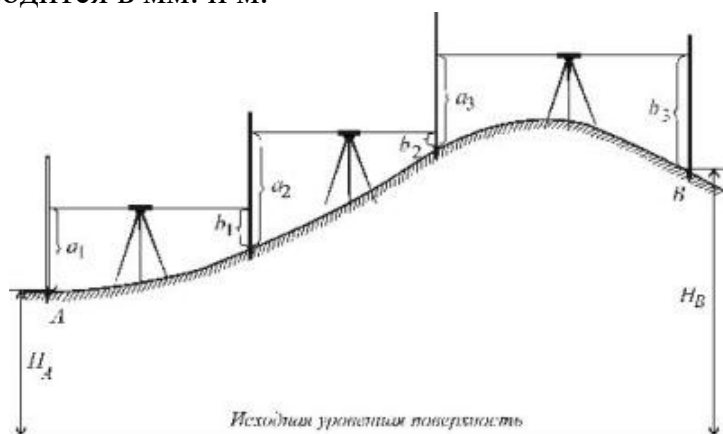


Рисунок 1.11 - Нивелирный ход

Процесс выполнения нивелирного хода показан на рисунках 1.12-1.13. Превышение между конечными точками хода А и В равно сумме вычисленных превышений:

$$h_{AB} = h_1 + h_2 + h_3, \quad (1.5)$$



Рисунки 1.12, 1.13 - Процесс выполнения нивелирного хода от тригопункта 4254А до Крун-1

– Расчёт объёма площадки

Для расчёта $V_{пл.}$ необходимо провести нивелировку площадки. Замеры необходимо взять по характерным точкам (углы, уступы, низ и верх площадки) через каждые 15 – 20 м.

Параметры площадки по нормативу 60х80м. Формула, используемая для расчёта площади:

$$S = a * b, \text{ т.е.} \quad (1.6)$$

$$S_{пл.} = 60 * 80 = 4800 \text{ м}$$

Также нужно высчитать $h_{ср. \text{ верх}}$ и $h_{ср. \text{ низ}}$ площадки, для того чтобы узнать разницу:

$$\Delta h = 2.130 - 1.583 \quad (1.7)$$

$$\Delta h \approx 0.55 \text{ м}$$

Стандартная высота площадки на данном месторождении принято считать 0,70 м

Зная площадь $S_{пл.}$ и Δh можно высчитать объём площадки $V_{пл.}$ по формуле:

$$V = \Delta h * S \quad (1.8)$$

$$V = 0.55 * 4800$$

$$V = 2.640 \text{ м}$$

- Измерение высоты недоступных объектов

Для составления топоплана необходимо знать некоторые элементы опор ЛЭП, которые находятся «не на земле». Это отметки подвеса проводов и отметки провиса проводов между опорами ЛЭП (рисунок 1.14).

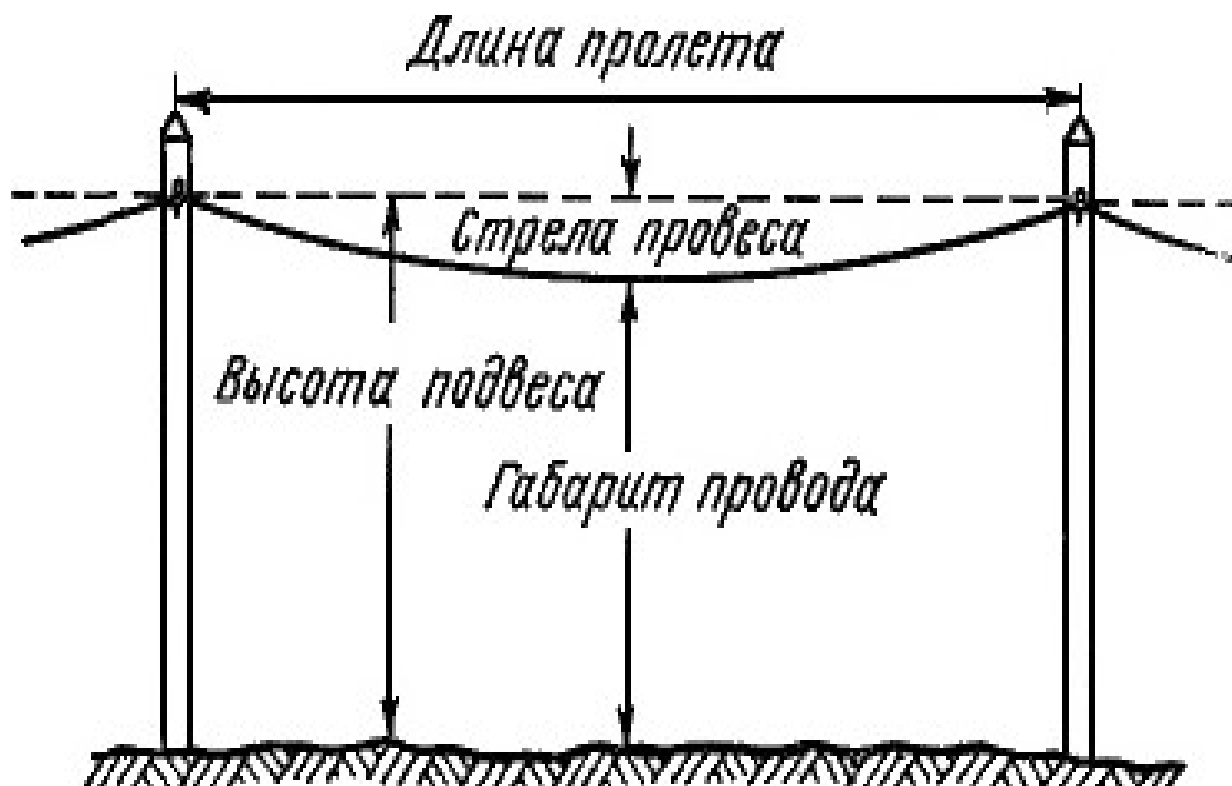


Рисунок 1.14 - Габариты воздушных линий

Для определения этих отметок существует несколько методов, в зависимости от того, какие у вас с собой инструменты.

- Определение отметок тахеометром
Способ «Безотражательный»

Если у тахеометра есть безотражательный режим, то взятие отметок подвеса проводов трудности не представляет. Просто в безотражательном режиме наводите на изолятор – и все. Поставив высоту отражателя «0».

- Способ «Недоступная высота объекта»

Сейчас все современные тахеометры имеют встроенное программное обеспечение для определения высоты недоступного объекта. В каждом приборе данная функция называется по-своему, но принцип работы одинаков.

- Реечник с отражателем становится «примерно под проводом»
- Наблюдатель с тахеометром стоя в любом удобном месте и запустив режим «Недоступная высота объекта» указывает высоту отражателя и измеряет дальность на вешку, как показано на рисунке 1.15.
- После этого изменяя вертикальный угол, он наводится на изолятор или провод ЛЭП и прибор непрерывно выдаёт высоту точки наведения относительно высоты земли, где стоял реечник.



Рисунок 1.15 - Измерение высоты ЛЭП через тахеометр(TS-06)

– Работа с программами PlainCalc097 и AutoCAD
 PlainCalc097 - геодезический калькулятор, предназначенный для использования в сфере геодезии и картографии, для расчёта геодезических (B, L) и плоских прямоугольных (x, y) координат (рисунок 1.16).

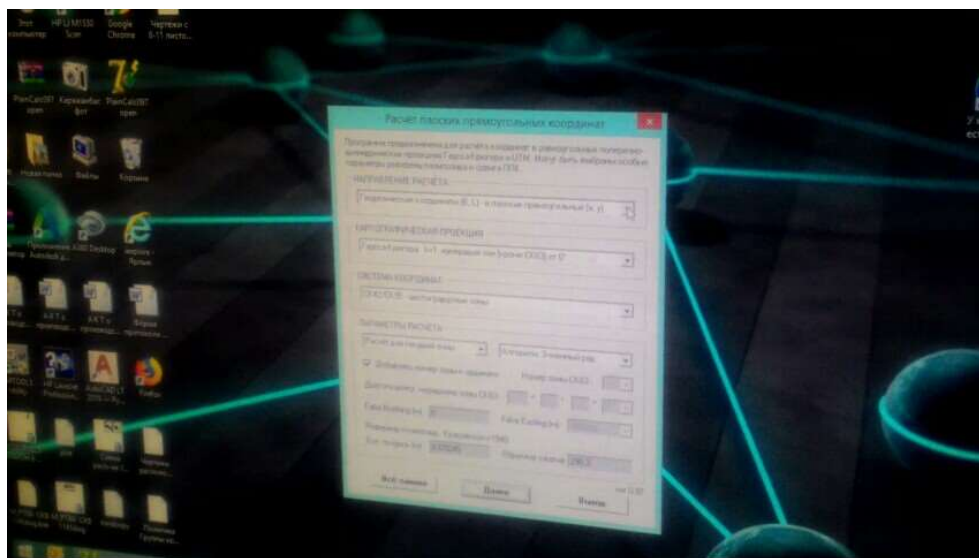


Рисунок 1.16 - Работа в Plaincalc097

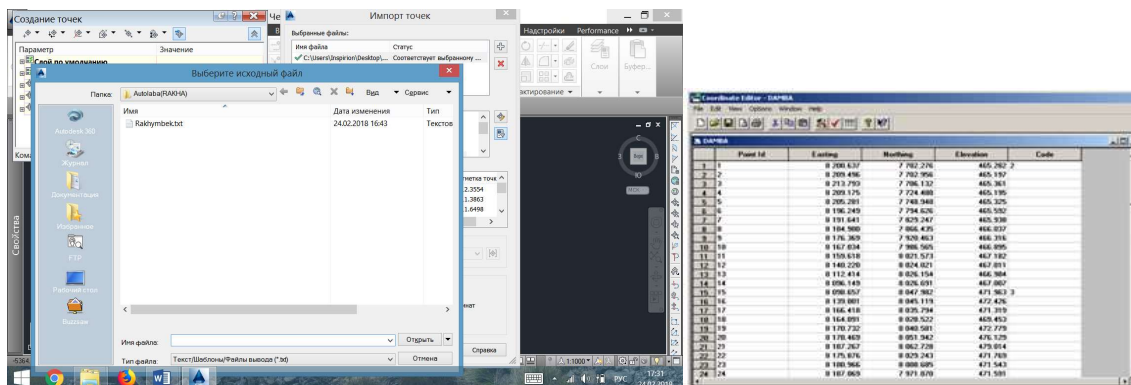
Данную программу используют для перевода плоских прямоугольных координат в геодезические.

1.2.4 Работа в AutoCAD

После производства тахеометрической съемки местности необходимо передать заснятые пикеты в компьютер для последующей их обработки.

Передача данных осуществляется с помощью специального программного обеспечения, которое прилагается к прибору - Leica Survey Office, как показано на рисунках 1.17 (а, б).

После открытия каталога координат и высотных отметок заснятых точек, был сохранен документ в расширении txt.



Рисунки 1.17 (а, б) - Передача данных в AutoCAD

На начальном этапе отображаются большие площадные объекты. После этого более мелкие, площадные и линейные. Затем точечным объектам присваиваются необходимые символы.

Таким образом, создаётся первоначальная обработка плана участка. После составления топографического плана в программе AutoCAD необходима согласование нанесенных на плана коммуникации (линий электропередача, линий связи, магистральных трубопроводов и т.д.) с организациями, которые ответственны за данные объекты. Если необходимо организация вносит поправки в топографический план.

1.3 Геодинамический мониторинг

Недра западного региона Республики Казахстан богаты залежами углеводородов. Крупномасштабная разработка нефтегазовых ресурсов приводит к интенсивным движениям земной поверхности, как в пределах локальных территорий, так и в отдельных структурных элементах, что приводит к искривлению скважин, разрыву нефте- и газопроводов и водопроводов, нарушению работы железных и автомобильных дорог, подземных коммуникаций и инженерных сооружений, что, в свою очередь, приводит к значительный экономический ущерб. Сильные и даже катастрофические геодинамические явления, связанные с добычей нефти и газа, были зафиксированы при разработке месторождений углеводородов во многих нефтегазовых бассейнах мира. Эти явления реализуются в виде землетрясений, активизации разломов, интенсивного проседания земной поверхности. Примерами могут служить сильные землетрясения на газовых

месторождениях: Газли (Узбекистан), Лак (Франция), Strachan и Snipe Lake (Канада), Фишинг (США) и ряд других [2].

Для мониторинга текущего геодинамического состояния недр на месторождениях нефти и газа необходимо организовать систематические (повторные) геодезические наблюдения на специально созданных геодинамических полигонах. Прогнозирование этих негативных явлений и уменьшение масштабов их последствий является актуальной проблемой, поскольку их возникновение может иметь катастрофические последствия для предприятий и окружающей среды. В связи с этим моделирование геодинамических процессов на основе геодезических наблюдений на специально созданных геодинамических полигонах является актуальной научной и практической задачей.

Точное геометрическое нивелирование является одним из старейших методов мониторинга и требует создания сети станций в интересующем районе. Движение поверхности в сети станций можно наблюдать индивидуально с точностью до миллиметра. Измерение деформации поверхности также может регулярно проводиться с использованием метода GNSS. Вертикальные и горизонтальные перемещения приемников ГНСС определяются с точностью до сантиметра. Однако для мониторинга ГНСС необходимы многие станции мониторинга вдоль обследованных базовых линий и приемных систем [3].

2 Применение метода радарной спутниковой интерферометрии SAR при разработке нефтегазовых месторождений

2.1 Основы радарной интерферометрии

Радар с синтезированной апертурой (SAR) - это разновидность радара, в котором сложная обработка радиолокационных данных используется для получения эффективного луча. Он может быть использован для формирования изображений относительно неподвижных целей; движущиеся цели могут быть размыты или смещены на сформированных изображениях.

Получение изображения SAR не зависит от естественного освещения, и снимки могут быть сделаны ночью. Радар использует электромагнитное излучение на микроволновых частотах; атмосферное поглощение на типичных длинах волн радара очень низкое, что означает, что наблюдениям не мешает облачный покров.

Спутники радара с синтезированной апертурой (SAR) получают изображения поверхности Земли, излучая радиолокационные сигналы и анализируя отраженный сигнал. Поскольку спутники SAR постоянно совершают кругосветное плавание по всему земному шару, с течением времени для одной и той же области может быть получено несколько снимков SAR.

Из существующих методов мониторинга радиолокационная интерферометрия, включая InSAR, DInSAR, InSAR с постоянным рассеянием (PSInSAR) и алгоритм SBAS, является одним из наиболее точных методов мониторинга с преимуществами получения изображений деформации поверхности на большой площади в любых погодных условиях с высокой точностью, теоретически порядка миллиметров. Применение таких радиолокационных интерферометрических методов для мониторинга поверхности является выгодным, особенно когда подробная информация о недоступной области с широким пространственным охватом недоступна. Результаты радиолокационной интерферометрии (т.е. интерферограммы или дифференциальные интерферограммы) содержат полезную информацию о смещениях поверхности, которые могут быть представлены в виде ряда счетных полос. Подробные сведения о смещениях поверхности, такие как пространственная протяженность, направление (например, вверх или вниз) и величина изменений высоты поверхности, могут быть получены путем дальнейшего анализа результирующих интерферограмм [4].

2.2 Методы радарной интерферометрии. InSAR and DInSAR.

2.2.1 Интерферометрия SAR (InSAR)

Интерферометрический радар с синтезированной апертурой (InSAR), или радарная интерферометрия SAR, представляет собой измерение изменения фазы сигнала между двумя изображениями, полученными в одной

и той же области в разное время. Когда точка на земле перемещается, расстояние между датчиком и точкой изменяется, и это также влияет на значение фазы, записанное датчиком (рисунок 2.1).

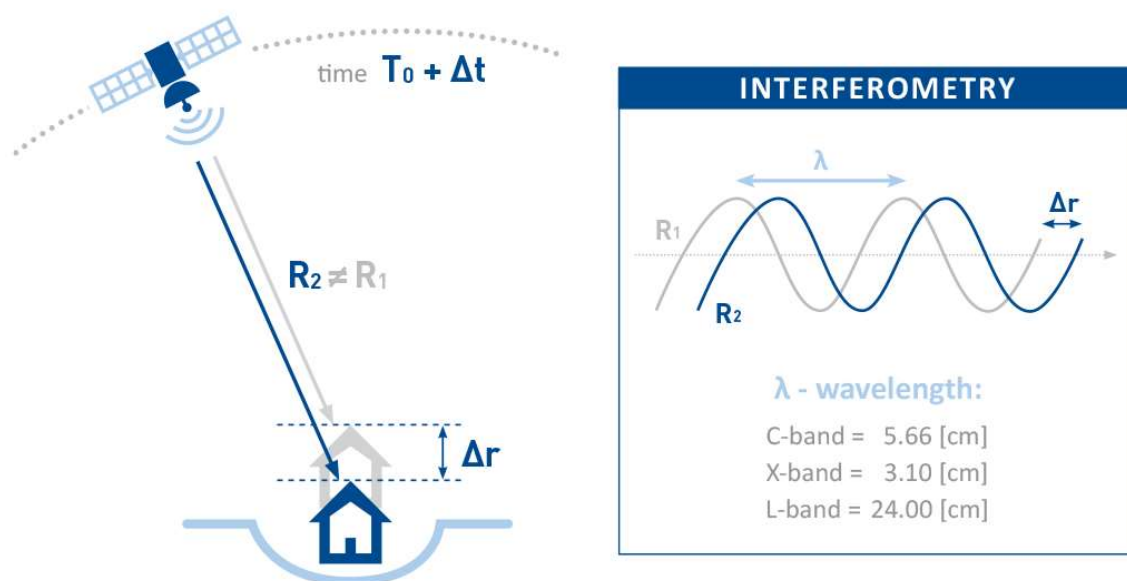


Рисунок 2.1 Спутниковая радарная интерферометрия

Изменение фазы сигнала ($\Delta\varphi$) выражается приведенным ниже уравнением:

$$\Delta\varphi = \frac{4\pi}{\lambda} \Delta R + \alpha, \quad (2.1)$$

где λ - длина волны,

ΔR - смещение в линии прямой видимости (LOS),

α - сдвиг фазы из-за различных атмосферных условий во время двух радиолокационных наблюдений.

Интерферограмма - это разность значений фазы, соответствующих определенной области, т.е. это цифровое представление изменения смещения поверхности (рисунок 2.2). Он соответствует матрице числовых значений в диапазоне от $-\pi$ до $+\pi$ (вариации фазы) и может быть преобразован в карту - самый простой способ наблюдать, происходило ли движение в определенной области [5].

Фаза одного изображения SAR может не представлять какой-либо особой пользы. Однако фазы двух изображений SAR одного и того же наземного объекта, полученных с немного отличающихся углов, имеют разность фаз. Это формирует основную силу интерферометрического метода SAR - то, что разница в диапазонах наклона от двух положений антенны может быть измерена с точностью до долей длины волны в разности фаз. Разность фаз связана с разницей в диапазоне наклона и может быть обработана для получения информации о высоте, т.е. для создания DEM.

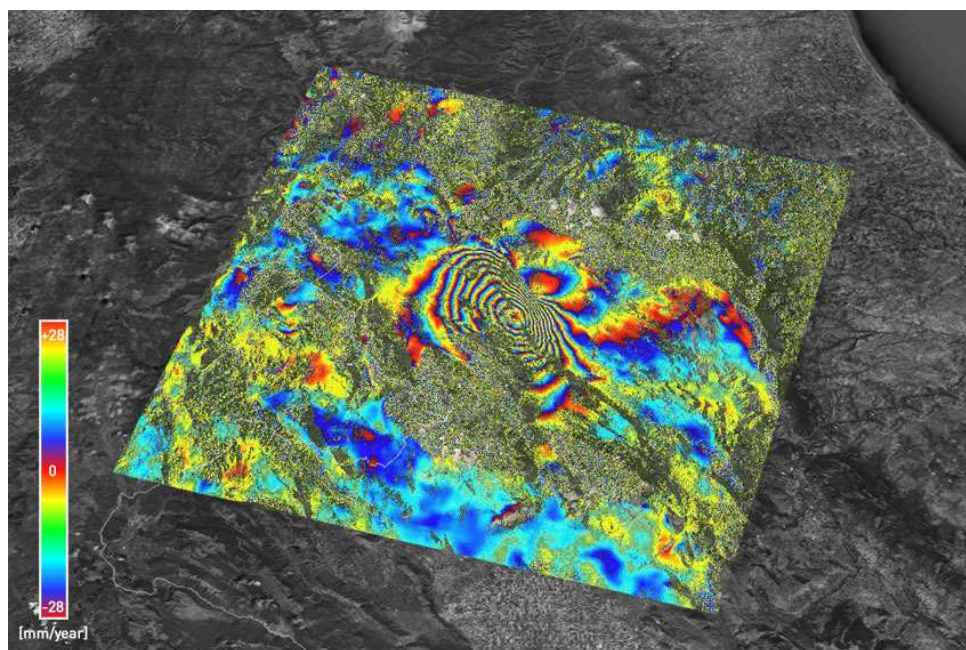


Рисунок 2.2 Пример интерферограммы

Вклад фазового сигнала:

На интерферометрическую фазу ($\Delta\phi$) влияют четыре фактора:

- 1) Топографические искажения, возникающие из-за незначительно отличающихся углов обзора двух проходов спутника (t);
- 2) Атмосферные эффекты (α), возникающие из-за искажений длины волны влагосодержащим слоем;
- 3) Любое смещение радиолокационной цели по дальности (δr);
- 4) Шум (эффекты декорреляции).

$$\Delta\phi = \frac{4\pi}{\lambda} + \alpha + t + noise(\text{шум}), \quad (2.2)$$

Трудно удалить все вклады в фазу, кроме смещения диапазона, используя одну интерферограмму SAR.

Сигналы радара с обратным рассеянием, измеренные с позиций антенн SAR, P1 и P2, связаны с топографией, кривизной Земли, атмосферным воздействием, фазовым шумом, который, возможно, обусловлен временным изменением рассеивателей и/или различными углами падения, и смещениями поверхности земли в направлении LOS луча радара, если происходит смещение поверхности. Интерферометрическая фаза может быть выражена через:

$$\Phi = \Phi_{topo} + \Phi_{flat} + \Phi_{def} + \Phi_{atm} + \Phi_{noise}, \quad (2.3)$$

где Φ является радиолокационной интерферометрической фазы извлечения InSAR;

Φ_{topo} - топографическая фаза;

Φ_{flat} - так называемая плоская Земля фаза вызвана кривизны земной поверхности,

Φ_{def} - это деформация поверхности фазы;

Φ_{atm} - атмосферное фазы;

Φ_{noise} - это фаза остаточного шума

Геометрия InSAR проиллюстрирована на рисунке 2.3 с описанием каждого параметра.

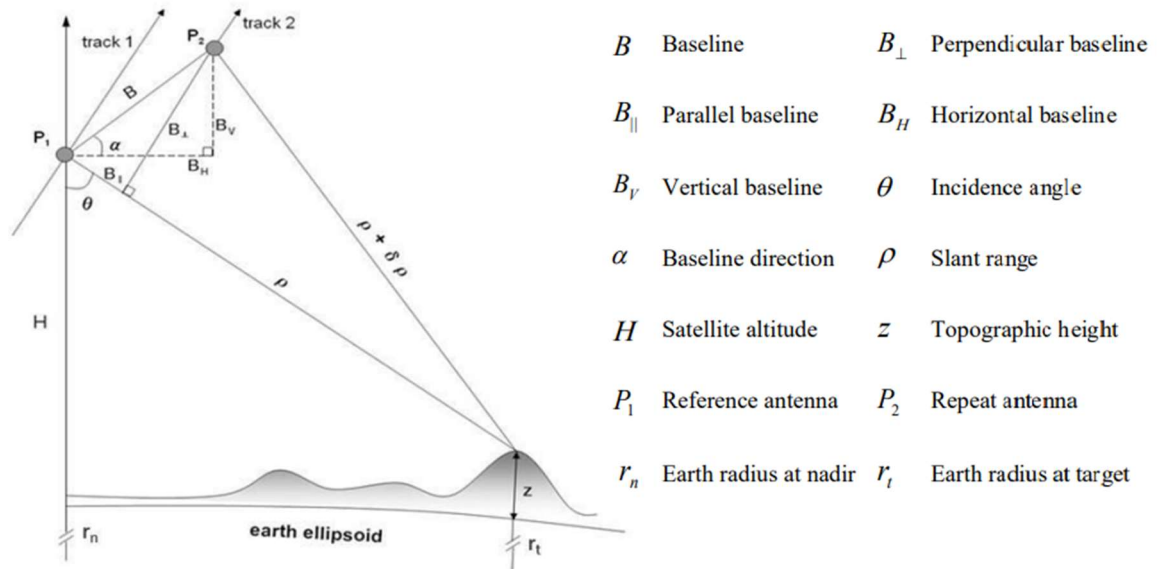


Рисунок 2.3 Иллюстрация геометрии InSAR

Для радиолокационной интерферометрии необходимы две данные SAR, полученные на одной и той же орбите над одной и той же областью. После совместной регистрации вторых данных SAR (т.е. подчиненного изображения) с соответствующими местоположениями первых данных SAR (т.е. основного изображения) интерферограмма может быть математически выражена путем сопряженного умножения по пикселям комплексных радиолокационных сигналов (y_1, y_2), содержащихся в двух разнесенных по времени данные SAR. Соответственно, комплексная интерферограмма (v) может быть сформирована следующим образом:

$$v = y_1 y_2^* = |y_1| |y_2| \exp(j(\psi_1 - \psi_2)), \quad (2.4)$$

где * обозначает комплексное сопряжение;

ψ_1 и ψ_2 - фазовые компоненты двух данных SAR [6].

Наблюдаемые значения фазы (ψ_{R1}, ψ_{R2}) в двух данных SAR для ячейки разрешения R являются:

$$\psi_{R1} = -\frac{2\pi 2\rho_1}{\lambda} \psi_{R2} = -\frac{2\pi 2\rho_2}{\lambda}, \quad (2.5)$$

где ρ_1, ρ_2 - геометрические расстояния,

λ - длина волны радиолокационного сигнала.

Следовательно, интерферометрическая фаза для ячейки разрешения R может быть представлена в виде:

$$\psi_R = \psi_{1R} - \psi_{2R} = -\frac{4\pi(\rho_1 - \rho_2)}{\lambda} = -\frac{4\pi\delta\rho}{\lambda}, \quad (2.6)$$

Следовательно, уравнение (2.6) - это просто вычитание фазы, содержащейся в “подчиненных” изображениях, из главного изображения. Согласно уравнению (2.6) очевидно, что интерферометрическая фаза (ψ_R) является функцией длины волны радиолокационного сигнала и разности длин пути (т.е. разности наклонной дальности, обозначенной как $\delta\rho$ в уравнении (2.6)). Диапазон наклона, содержащий незначительные изменения длины пути, измеренной во время второго сбора данных SAR, может быть геометрически выражен с помощью:

$$(\rho + \delta\rho)^2 = \rho^2 + B^2 - 2\rho B \sin(\theta - \alpha), \quad (2.7)$$

где B обозначает базовую линию, θ - угол падения, а α указывает ориентацию базовой линии. Если член $\delta\rho$ достаточно мал, чтобы удовлетворять $\delta\rho \ll \rho$, уравнение (7) становится:

$$\delta\rho = \frac{B^2}{2\rho} - B \sin(\theta - \alpha), \quad (2.8)$$

Путем упрощения уравнения (2.8), предполагая, что условие $B \ll \rho$ может быть выполнено в большинстве случаев, интерферометрическая фаза может быть впоследствии переформулирована с учетом уравнений. (2.6) и (2.8) следующим образом:

$$\Phi = -\frac{4\pi}{\lambda} B \sin(\theta - \alpha), \quad (2.9)$$

Производная от уравнения (2.9) по отношению к углу падения равен:

$$\delta\Phi = -\frac{4\pi}{\lambda} B \cos(\theta - \alpha) \delta\theta, \quad (2.10)$$

Уравнение (2.10) представляет зависимость между интерферометрическим изменением фазы и изменением угла падения.

Результирующая фаза (Φ) вычисляется по уравнению (2.9) указывает интерферометрическую фазу из-за изменения диапазона наклона. Пространственную базовую линию (B) можно разделить на два компонента – параллельную базовую линию ($B_{||}$) и перпендикулярную базовую линию ($B_{\perp}$), как показано на рисунке 2.3. Эти два компонента базовой линии являются функциями угла падения и направления базовой линии и могут быть представлены в виде:

$$B_{||} = B \sin(\theta - \alpha) \quad B_{\perp} = B \cos(\theta - \alpha), \quad (2.11)$$

Путем сравнения уравнений (2.9) - (2.11), можно обнаружить, что интерферометрическая фаза в уравнении (2.9) пропорциональна параллельной базовой линии, в то время как производная интерферометрической фазы в уравнении (2.8) пропорциональна перпендикулярной базовой линии. [5]

2.2.2 Дифференциальный InSAR (DInSAR)

DInSAR не является инструментом для точного измерения перемещений, но он полезен для определения площади прогрессирующего движения [4].

Дифференциальная интерферометрия или DInSAR - это тоже, что и интерферометрия. Единственное отличие состоит в том, что топографические эффекты компенсируются с помощью цифровой модели рельефа (DEM) наблюдаемой области, создавая так называемую дифференциальную интерферограмму. Это может быть выражено как:

$$\Delta\varphi = \frac{4\pi}{\lambda} \Delta R + \alpha + \varepsilon + noise(\text{шум}), \quad (2.12)$$

где ε - вклад в фазу, возникающий из-за возможных ошибок в DEM. Всякий раз, когда уровни шума низки (т.е. эффекты декорреляции незначительны), а вклад фазы, обусловленный местной топографией, точно компенсируется (т.е. ε также незначителен), интерферометрическая фаза $\Delta\varphi$ может быть упрощена следующим образом:

$$\Delta\varphi = \frac{4\pi}{\lambda} \Delta R + \alpha, \quad (2.13)$$

где ΔR - любое смещение радиолокационной цели по дальности,
 α - атмосферный вклад в сдвиг фазы.

После подготовки дифференциальной интерферограммы можно создать карту деформаций для всех областей, которые являются когерентными, как показано на рисунке 2.2.

Основной целью применения DInSAR является извлечение фазовой составляющей из-за деформации поверхности земли из интерферограмм. Как представлено в уравнении (2.5), интерферометрическая фаза состоит не только из радиолокационного сигнала, связанного с деформацией поверхности, но и из других нежелательных фазовых составляющих, вносимых высотой местности, кривизной Земли, неоднородностью атмосферы и сигнальным шумом. Поэтому важно вычесть топографические и другие эффекты из фазы радиолокационной интерферометрии, чтобы получить только вклад деформации поверхности.

$$\Phi = \Phi_{topo} + \Phi_{def} + \Phi_{atm} + \Phi_n, \quad (2.14)$$

Компоненты фазы, связанные с топографическим эффектом и кривизной Земли, могут быть исключены из результирующих интерферограмм с помощью DInSAR. Топографическая фаза может быть оценена с использованием внешней DEM, которая совместно регистрируется с сгенерированными интерферограммами; и фаза, обусловленная кривизной Земли, может быть математически вычислена с использованием орбитальной информации платформы SAR. Дифференциальная интерферометрическая фаза, обусловленная вертикальной деформацией поверхности, которая имеет место между датами получения двух данных SAR, может быть восстановлена с точностью от сантиметров до миллиметров с помощью приложения DInSAR.

Дифференциальная интерферограмма k -ой содержит дифференциальную интерферометрическую фазу, состоящую из следующих компонентов:

$$\Phi_{diff}^k = \Phi_{DEMerror}^k + \Phi_{def}^k + \Phi_{atm}^k + \Phi_{noise}^k, \quad (2.15)$$

где Φ_{diff}^k - полная фаза k^{th} дифференциальной интерферограммы,

$\Phi_{DEMerror}^k$ - фаза, вызванная ошибкой во внешнем DEM.

Компоненты фазы, которые должны быть устранены для восстановления деформации поверхности (т.е. фазы топографической и земной кривизны), могут быть математически сформулированы с помощью геометрических параметров InSAR.

Коррекция плоской Земли:

Дополнительная фаза, связанная с эллипсоидальной формой Земли, всегда включается в интерферограмму. Этот фазовый член может быть оценен с использованием точной орбитальной информации и просто удален из интерферограммы с помощью хорошо зарекомендовавшей себя математической модели. Удаление фазы из-за кривизны Земли называется коррекцией плоской Земли или выравниванием фазы. Из рисунка 2.3 (угол падения (θ)) может быть выражен расстоянием (b) между положением

спутника и центром Земли, радиусом Земли в местоположении локальной наземной цели (r_t) и дальностью наклона (ρ) следующим образом:

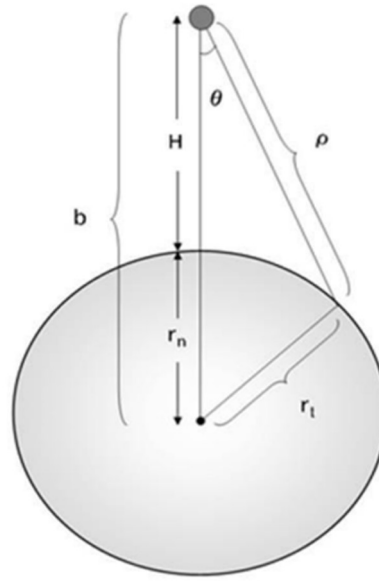


Рисунок 2.3 Схема коррекции плоской Земли

$$\eta = \cos(\theta) = \frac{(b^2 + \rho^2 - r_t^2)}{2\rho b}, \quad (2.16)$$

H и r_n на рисунке 2.3 обозначают высоту радиолокационного спутника и радиус Земли в надире соответственно.

Уравнение (2.7) впоследствии дифференцируется по наклонная дальности и может быть выражено через:

$$\frac{\delta\theta}{\delta\rho} = \frac{1}{\sin(\theta)} \left(\cos(\theta) - \frac{\rho}{b} \right) \quad (2.17)$$

Подставляя уравнение (2.17) в уравнение (2.10), уравнение (2.10), наконец, становится:

$$\frac{\delta\Phi}{\delta\rho} = \frac{4\pi B \cos(\theta - \alpha)}{\sin(\theta)} \left(\cos(\theta) - \frac{\rho}{b} \right) \quad (2.18)$$

Использование уравнений (2.9) и (2.18), приближительная поправка на плоскую Землю может быть выражена через:

$$\Phi = -\frac{4\pi B}{\lambda} \left[(1 - \eta^2)^{\frac{1}{2}} \cos(\alpha) - \eta \sin(\alpha) \right], \quad (2.19)$$

где η задается в уравнении (2.16).

Устранение топографического эффекта:

До тех пор, пока топографический эффект все еще остается в радиолокационной интерферометрической фазе, однозначно невозможно интерпретировать только деформации земной поверхности. Поскольку диапазон наклона изменяется в зависимости от высоты местности, на интерферометрическую фазу существенное влияние оказывает топография. Производная интерферометрической фазы в уравнении (2.9) по отношению к рельефу местности высота становится:

$$\frac{\delta\Phi}{\delta z} = \frac{4\pi}{\lambda} B \cos(\theta - \alpha) - \frac{\delta\theta}{\delta z} \quad (2.20)$$

Высота спутника над опорной Землей (H_{sat}) представлена следующим образом:

$$H_{\text{sat}} = \rho \cos(\theta) \quad (2.21)$$

Производная уравнения (2.21) по углу падения представляет скорость изменения угла падения ($\delta\theta$) по отношению к разнице высот (H_{sat}):

$$H_{\text{sat}} = -\rho \sin(\theta) \delta\theta \quad (2.22)$$

Используя уравнения (2.9), (2.10) и (2.22), зависимость между высотой спутника над эталонным телом и интерферометрической фазой может быть найдена как:

$$H = -\frac{\lambda \rho \sin(\theta)}{4\pi B_{\perp}} \delta\Phi \quad (2.23)$$

Путем замены $\delta\Phi$ на 2π , что представляет собой один полный цикл радиолокационной интерферометрической фазы, уравнение для неоднозначности высоты (H_a) выводится следующим образом:

$$H_a = \left| \frac{\lambda \rho \sin(\theta)}{2B_{\perp}} \right| \quad (2.24)$$

Результирующий член (H_a), часто называемый высотой неоднозначности, представляет изменение высоты, соответствующее сдвигу фазы 2π . Следовательно, высота неоднозначности указывает на чувствительность интерферометрической фазы к изменениям высоты поверхности. Фазу, связанную с топографией, можно легко вычислить, инвертировав уравнение (2.23).

Извлечение поверхностной деформации:

После успешного исключения из интерферограммы фазовых составляющих, обусловленных топографическим эффектом и кривизной Земли, оставшаяся фаза в идеальном случае (т.е. отсутствие атмосферного эффекта и фазового шума) должна указывать исключительно на деформации поверхности, измеренные вдоль направления LOS, которые имеют место в период между двумя датами сбора данных SAR. Дифференциальная интерферометрическая фаза, обусловленная деформацией поверхности, может быть легко сформулирована как:

$$\Phi_{def} = -\frac{4\pi}{\lambda}\delta\rho \quad (2.25)$$

Из уравнения (2.25) можно сделать вывод, что деформация поверхности земли, вызывающая изменение фазы на 2π (т.е. 1 полоса) в дифференциальной интерферограмме, соответствует $\lambda/2$, что соответствует 2,3 см для C-диапазона (например, ERS-2) и 11,75 см для L-диапазона (например, ALOS-1) в радиолокационной интерферометрии.

Однако изолированная фазовая составляющая, вносимая деформациями поверхности, возникающими между двумя датами сбора данных SAR, неоднозначна, поскольку дифференциальная интерферометрическая фаза по своей сути обернута по модулю 2π . Физическое измерение деформации поверхности требует дополнительного процесса разворачивания дифференциальной интерферометрической фазы, так называемого фазового разворачивания. Фазовое разворачивание должно быть применено к результирующим дифференциальным интерферограммам перед восстановлением деформации поверхности. Поскольку развернутые дифференциальные интерферограммы все еще находятся относительно друг друга, дифференциальные интерферометрические фазы следует масштабировать относительно контрольной точки, расположенной в недеформированной стабильной области с высокой когерентностью, которая непрерывно сохраняется с течением времени. Развернутые и масштабированные дифференциальные интерферограммы предоставляют физически значимую информацию о вертикальных деформациях поверхности, измеренных вдоль направления LOS. Успешно развернутые и масштабированные дифференциальные интерферограммы могут быть преобразованы в смещения поверхности в направлении LOS путем умножения коэффициента $-\frac{\lambda}{4\pi}$.

После разворачивания дифференциальных интерферограмм смещения поверхности в направлении LOS могут быть преобразованы в вертикальную деформацию поверхности (ΔS) в предположении незначительной горизонтальной деформации поверхности с помощью формулы 2.26:

$$\Delta S = \frac{\delta \rho}{\cos(\theta)} \quad (2.26)$$

Следовательно, вертикальные перемещения на уровне поверхности земли могут быть измерены с помощью реализации DInSAR, как описано в этом разделе.

2.2.3 Технология PSInSAR

Методы интерферометрии с постоянными рассеивателями (PSI) впервые появились в 1999 году, когда Миланский политехнический университет (POLIMI) разработал и запатентовал свой алгоритм PSInSAR.

PSInSAR представляет собой значительную эволюцию обычного InSAR, при которой:

- Используется набор данных с несколькими изображениями (минимум 20-25 изображений);
- Атмосферные и орбитальные ошибки существенно устраняются;
- Анализируются субпиксельные отражения радара;
- Выявлены линейные и нелинейные закономерности деформирования;
- Временные истории движения генерируются для каждой радиолокационной цели (PS).

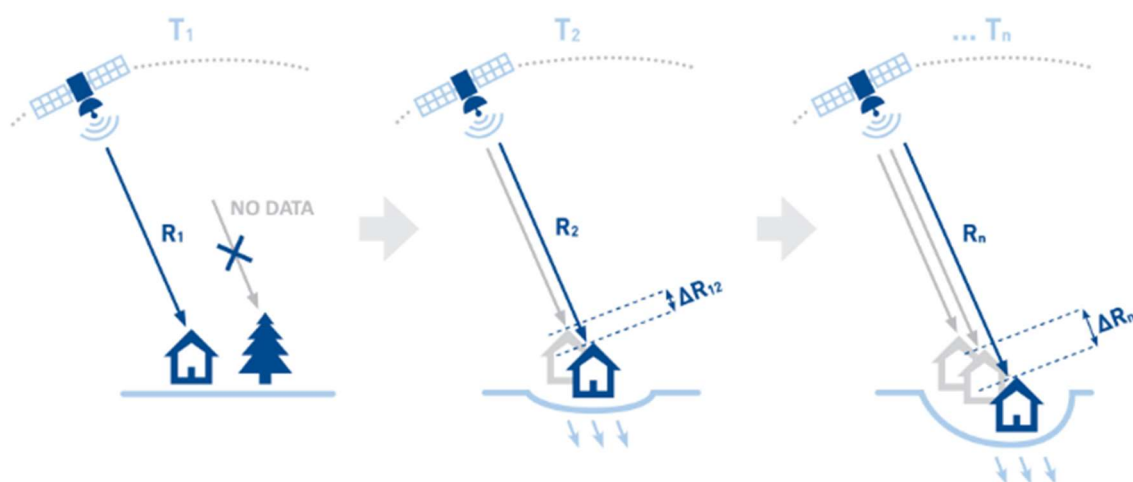


Рисунок 2.4 Методы интерферометрии с постоянными рассеивателями

Использование наборов данных с несколькими изображениями позволяет идентифицировать стабильные отражатели, называемые постоянными рассеивателями, или PS, которые представляют собой точки на земле, которые возвращают стабильные сигналы на спутниковый датчик (например, здания, металлические предметы, опоры, антенны, обнаженные

скалы), что позволяет измерять скорости перемещения поверхности с точностью до миллиметра [5].

Для обработки PSInSAR анализируются изменения фазы в серии изображений SAR, полученных в разное время в одной и той же области. Одно изображение выбирается в качестве основного изображения, и формируются интерферограммы между основным изображением и всеми другими изображениями серии. В этом стеке интерферограмм идентифицируются пиксели, демонстрирующие когерентное фазовое поведение во времени. Эти цели являются так называемыми постоянными рассеивателями (PS). Они образуют сеть точек измерения, с помощью которых можно оценить деформацию поверхности, топографические высоты и источники ошибок, такие как атмосферный сигнал. В PSInSAR атмосферные артефакты могут подавляться более эффективно по сравнению с обычным InSAR благодаря использованию длинной серии интерферограмм. Атмосферные фазовые экраны всех полученных данных оцениваются и удаляются, исходя из предположения, что атмосфера коррелирует в пространстве, но не во времени (рисунок 2.5). Процедура оценки приводит к временному ряду смещений PS, которые описывают фактические перемещения постоянных рассеивателей в прямой видимости спутника.

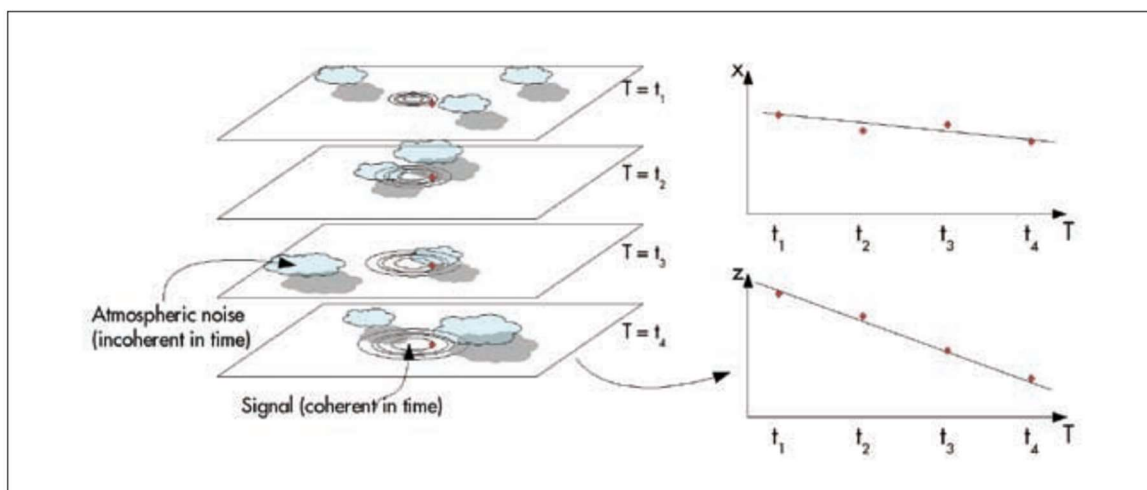


Рисунок 2.5 Концепция обработки PSInSAR. Через регулярные промежутки времени записываются SAR-изображения поверхности. Идентифицируются точки на поверхности, которые демонстрируют согласованное поведение во времени, и отслеживается их движение. Используя модель движения, временная когерентная часть движения отделяется от атмосферных колебаний, которые являются случайными во времени.

Постоянные рассеиватели часто представляют собой искусственные сооружения, такие как крыши, улицы и трубопроводы. В заросших растительностью районах можно встретить несколько постоянных рассеивателей. Оценки деформации, полученные в результате наблюдений

InSAR, приведены вдоль линии прямой видимости спутника. Для различных режимов съемки угол падения варьируется от $\sim 23^\circ$ до $\sim 45^\circ$ между вертикальным и горизонтальным направлением восток-запад. Одна и та же точка на поверхности Земли может быть видна с нескольких позиций спутника в космосе, поскольку записанные области перекрываются для соседних дорожек. Кроме того, спутник может отображать одно и то же место, один раз направляясь от Южного полюса к Северному полюсу, а второй раз направляясь от Северного полюса к Южному полюсу. Эти направления называются восходящим и нисходящим. Восходящая и нисходящая геометрии сбора данных могут отображать одну и ту же область, один раз глядя "с востока" и один раз глядя "с запада". Комбинируя восходящий и нисходящий временные ряды, можно отделить горизонтальную деформацию с востока на запад от вертикальной деформации (рисунок 2.6). Поскольку новое изображение SAR доступно каждые 11-35 дней, в зависимости от спутника, можно отслеживать деформацию во времени и, следовательно, улучшать понимание временных изменений источников деформации.

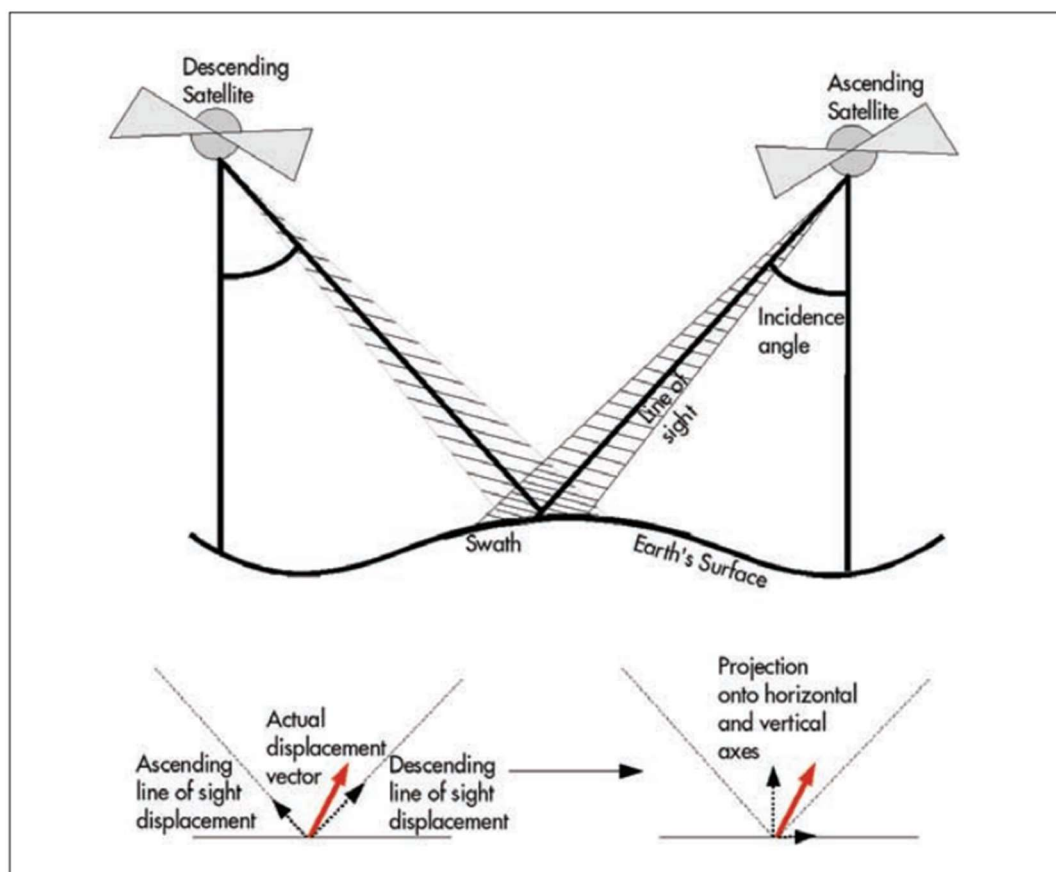


Рисунок 2.6 Горизонтальную и вертикальную составляющие смещения можно различить, используя измерения под разными углами наблюдения.

2.2.4 Алгоритм SBAS

Алгоритм SBAS, с другой стороны, предполагает использование нескольких подмножеств дифференциальных интерферограмм с малой

базовой линией (SB), чтобы преодолеть присущее PSInSAR ограничение. Использование подмножеств SB, которые определяются как группы пар данных SAR, характеризующихся небольшим пространственным разделением между орбитами (т.е. короткой пространственной базовой линией), смягчает эффекты пространственной декорреляции, которые, возможно, вызваны длинной пространственной базовой линией интерферометрических пар. Кроме того, количество данных SAR, используемых для формирования интерферограммы, может быть увеличено за счет комбинации подмножеств SB с использованием разложения по сингулярным значениям (SVD). Применение алгоритма SBAS к стеку дифференциальных интерферограмм также позволяет проводить временной анализ смещений поверхности на каждую дату сбора данных SAR [8].

В принципе, алгоритм SBAS состоит из двух основных этапов:

- 1) Оценка фазовой составляющей нижних частот (LP), включая линейную деформацию поверхности в большом пространственном масштабе, топографическую ошибку внешнего DEM и атмосферные фазовые артефакты;
- 2) Определение компонентов высоких частот (HP), разделенных на остаточная деформация поверхности и топографический фазовый сигнал. При $N + 1$ данных SAR, упорядоченных по возрастанию времени $N t_0, \dots, t_N$, число возможных интерферометрических пар (M) для генерации дифференциальной интерферограммы находится в диапазоне:

$$\frac{N+1}{2} \leq M \leq N \left(\frac{N+1}{2} \right) \quad (2.27)$$

При предположении, что N - нечетное число. Входные дифференциальные интерферограммы должны содержать значения фазы, которые уже развернуты и масштабированы относительно контрольной точки.

Если существует вектор из N неизвестных фаз деформации поверхности на даты получения каждого данных SAR и M известных дифференциальных интерферометрических фаз, эти фазы могут быть расположены следующим образом:

$$\Phi^* = [\Phi(t_1), \dots, \Phi(t_N)] , \delta\Phi^* = [\delta\Phi_1, \dots, \delta\Phi_M] \quad (2.28)$$

где $*$ означает транспонирование матрицы. Стопка M дифференциальных интерферограмм может быть восстановлена с помощью следующих двух индексных матриц следующим образом:

$$IS = [IS_1, \dots, IS_M] , \quad IE = [IE_1, \dots, IE_M] \quad (2.29)$$

где IS и IE указывают индексы времени получения изображений вторичной (подчиненной) и главной SAR, отсортированных в хронологическом порядке.

Развернутая фаза m -й дифференциальной интерферограммы затем может быть выражена через:

$$\delta\Phi_m(x, r) = \Phi(t_{IE_m}, x, r) - \Phi(t_{IS_m}, x, r) , \quad (2.30)$$

где x и r - координаты пикселей азимута и дальности соответственно;

$\Phi(t_{IE_m}, x, r)$ и $\Phi(t_{IS_m}, x, r)$ обозначают фазовые компоненты изображений ведущего и ведомого SAR, соответственно, с $\forall m = 1, \dots, M$.

Следовательно, уравнение (2.30) может быть определено как линейная система из M известных и N неизвестных компонентов; и это линейное соотношение может быть просто представлено как:

$$K_{\Phi} = \delta\Phi , \quad (2.31)$$

где K - матрица $M \times N$, определяющая комбинацию данных SAR, используемых для создания каждой радиолокационной интерферометрической пары. Элементы K для m -й дифференциальной интерферограммы определяются как $K(m, IS_m) = -1$, когда $IS_m \neq 0$ и $K(m, IE_m) = +1$, и ноль в противном случае. Если 1-я дифференциальная интерферограмма создается с использованием комбинации IE_4 и IS_2 выполняется $\delta\Phi_1 = \delta\Phi_4 - \delta\Phi_2$.

Замена фазового члена (Φ) в уравнении (2.31) фазовой скоростью деформации поверхности (v) между датами сбора двух смежных по времени данных SAR, следовательно, рассматривается в качестве более приемлемых решений. В этом случае средняя фазовая скорость, измеренная между смежными по времени датами получения данных SAR, считается неизвестным параметром. Соответственно, линейная система, представленная в уравнении (2.31), может быть реорганизована, что приводит к следующему выражению:

$$C_v = \delta\Phi , \quad (2.32)$$

где v - средняя фазовая скорость;

C - системная матрица, составленная с указанием дат сбора данных SAR, смежных по времени;

C - это $M \times N$ - матрица, общим элементом которой является $C(m, k) = t_{k+1} - t_k$ для $IS_{k+1} \leq k \leq IE_k$;

$C(m, k)$ обращается в нуль в другом месте.

Новое неизвестное (v) может быть определено как:

$$v^* = \left[v_1 = \frac{\Phi_1}{t_1 - t_0}, \dots, v_N = \frac{\Phi_N - \Phi_{N-1}}{t_N - t_{N-1}} \right] , \quad (2.33)$$

Рассматривая уравнение (2.33), уравнение (2.28) становится:

$$\sum_{k=IS_m+1}^{IE_m} (t_k - t_{k-1}) v_k = \delta \Phi_m, \quad (2.34)$$

где $\forall m = 1, \dots, M$.

Если информация о деформации поверхности во временной модели, такая как средняя фазовая скорость ($\bar{v}$), среднее фазовое ускорение ($\bar{a}$), и изменение среднего фазового ускорения ($\overline{\Delta a}$), доступна, она может быть дополнительно включена в уравнение (2.32). Вектор фазовой скорости (v), связанный с деформацией, связан с вектором параметров модели p следующим образом:

$$v = T p, \quad (2.35)$$

где матрица T указывает компоненты вектора.

Принимая развернутые дифференциальные интерферограммы в качестве входных данных уравнения (2.32) или (2.35), член фазовой скорости (v) или параметры модели ($\bar{v}$, $\bar{a}$, $\overline{\Delta a}$) из-за смещений поверхности могут быть оценены методами инверсии. Если все дифференциальные интерферограммы сгруппированы в одно подмножество SB , количество возможных сгенерированных дифференциальных интерферограмм всегда больше, чем общее количество данных SAR ($M \geq N$). Этот факт приводит к тому, что вся система либо хорошо определена ($M = N$), либо переопределена ($M > N$). Следовательно, C становится матрицей ранга N и системным решением уравнения (2.32) может быть получено с помощью традиционного метода, такого как метод наименьших квадратов, следующим образом:

$$\bar{v} = (C^* C)^{-1} C^* \delta \Phi, \quad (2.36)$$

Однако, когда рассматривается несколько подмножеств SB , система иногда сталкивается с проблемой дефицита ранга с рангом $N - L + 1$, где L - количество подмножеств. Соответственно, решение методом наименьших квадратов не является уникальным, скорее система имеет бесконечные решения. Эта проблема может быть решена с помощью метода SVD, который оценивает одно решение с минимальной нормой среди всех решений методом наименьших квадратов. Псевдообратная матрица C , которая дает решение с минимальной нормой наименьших квадратов, может быть получена методом SVD следующим образом:

$$\bar{v} = V \begin{bmatrix} \Sigma^{-1} & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} U^* \delta \Phi, \quad (2.37)$$

где V - ортогональная матрица $M \times M$, первые N столбцов которой имеют собственные векторы C^*C ;

U - ортогональная матрица $N \times M$, первые столбцы которой являются собственными векторами CC^* ;

$\Sigma = \text{diag}(\sigma_1^{-1}, \dots, \sigma_{N-L+1}^{-1})$, где σ - квадратный корень из собственного значения CC^* .

Как только компонент LP в уравнении (2.32) оценен, остаточная фаза, которая связана с вкладами НР, может быть получена путем вычитания компонентов LP из каждой дифференциальной интерферограммы. Эта операция обычно снижает высокую скорость образования полос, которая, возможно, вызвана быстрыми деформациями поверхности, что приводит к получению более надежных развернутых остаточных фаз. Следовательно, уточненная развернутая дифференциальная интерферометрическая фаза может быть восстановлена путем добавления обратно вычитаемой составляющей фазы LP к развернутой остаточной фазе. Средняя скорость вертикальной деформации поверхности между датами сбора двух смежных по времени данных SAR может быть оценена по дифференциальным интерферограммам путем применения инверсии на основе SVD, а смещения поверхности, измеренные на каждую дату сбора данных SAR, становятся доступными на этапе интегрирования.

Если речь идет о значительных атмосферных артефактах, к результатам, полученным с помощью SVD, может быть применена операция фильтрации, чтобы смягчить оставшиеся атмосферные эффекты.

Концепция фильтрации, которая первоначально была введена в PSInSAR, основана на том факте, что атмосферные явления сильно коррелированы в пространственной области, но демонстрируют низкую временную корреляцию. После фильтрации атмосферных воздействий конечные результаты могут быть преобразованы в сигнал деформации поверхности путем умножения коэффициента $-\frac{\lambda}{4\pi}$. Общая реализация алгоритма SBAS представлена в виде блок-схемы на рисунке 2.7. [4]

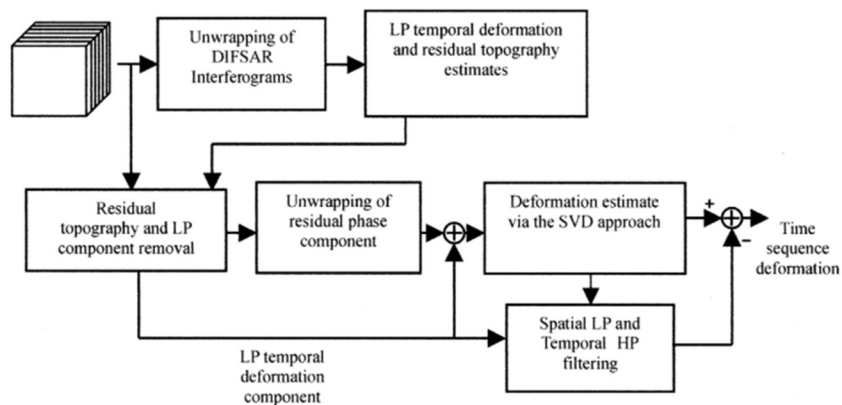


Рисунок 2.7 Структурная схема внедрения SBAS

2.3 Возможные направления применения спутниковой интерферометрии в нефтегазовом комплексе

– Просадка из-за добычи нефти

Добыча нефти и газа из недр Земли приводит к появлению трещин и дисбалансу давления в пластах горных пород. Прогрессирующее разрушение истощенного месторождения вызывает оседание поверхности. Другим источником деформации поверхности является циклическая стимуляция паром для извлечения нефти. Дифференциальная интерферометрия - это способ, который можно применять для измерения результатов таких явлений с точностью до миллиметра.

– Активность вулканов

Некоторые нефтедобывающие регионы расположены в зонах активного грязевого вулканизма. Тектонические условия могут вызвать подъем нефти и газа к поверхности. Мониторинг поверхностного “дыхания” с помощью интерферометрических методов полезен для оценки и вероятности извержения. Например, нефтяные и газовые месторождения в Азербайджане в Южно-Каспийском бассейне тесно связаны с грязевым вулканизмом.

Даже при отсутствии визуальных признаков извержения деформация в положительном (вверх) направлении предупреждает об опасности. Вершина вулкана может демонстрировать отрицательную деформацию из-за процессов эрозии, но склоны вулкана с поднятием доказывают, что он не бездействует.

– ДЕМ для составления карт и планирования трубопроводов

Геологическое картирование невозможно без точных топографических данных. Современная геологическая съемка сочетает в себе различные типы данных, и рельеф поверхности является одним из ключевых факторов для интерпретации и определения подповерхностных минеральных горизонтов, структурных особенностей или литологии. Как указывалось, выше, SAR-интерферометрия - это способ, который дает возможность получения цифровых моделей рельефа с высоким разрешением.

Интерферометрическая фазовая составляющая Φ_{topo} должна быть оценена, сглажена (при необходимости), развернута в двух измерениях (т.е. 2π -неоднозначность должна быть устранена) и пересчитана из радианов в метры высоты. После этой цепочки обработки геокодированное изображение показывает карту высот. Существуют различные методы визуализации DEMs. Два из них можно найти на рисунке 2.8: цветная 3D-поверхность и изображения в оттенках серого для одной и той же прямоугольной области.

Разведка полезных ископаемых и углеводородов часто использует некоторые косвенные признаки присутствия ресурсов, например, специфичные геологические структуры, связанные с нефтяными / газовыми месторождениями.

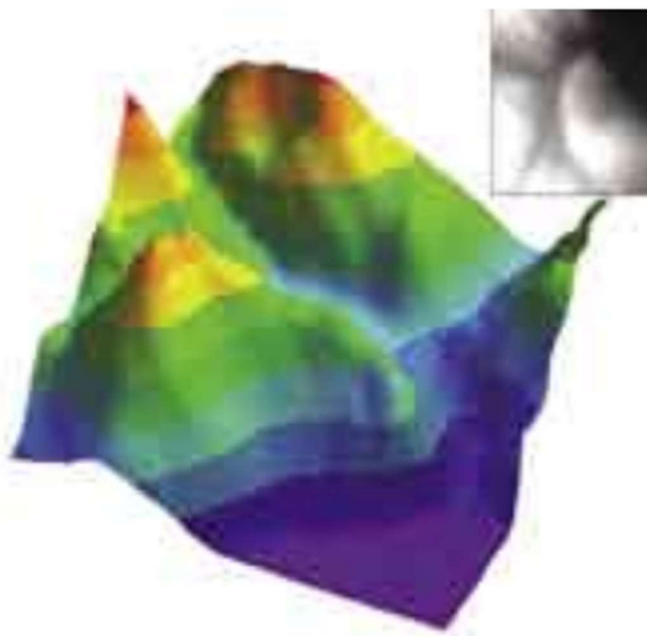


Рисунок 2.8 Пример цифровой модели рельефа

Это, совместный анализ DEM с такими топографически выраженными особенностями и дополнительной информацией (SAR или оптические изображения) может помочь в выявлении областей с высоким потенциалом. Общее планирование трубопровода также требует точных карт высот, особенно для горных районов. DEM помогает в разработке маршрутов для компаний, обслуживающих трубопроводы, в регионах, которые трудно оценить. Используя DEM, можно быстро определить направление утечки в случае случайного разлива нефти.

– **Мониторинг охранной зоны трубопровода: утечки нефти / газа и незаконная деятельность по отводу**

Для мониторинга трубопроводов SAR-интерферометрия предоставляет компаниям карты когерентности. В случае схемы с повторным проходом одной из основных причин декорреляции обычно является изменение земной поверхности между съемками, особенно изменения микрорельефа в пределах размера пикселя (около 5-20 метров для разных датчиков). Например, разливы нефти сглаживают поверхность, и с помощью изображения SAR можно локализовать возможную утечку. Утечки газа могут вызвать изменения в растительности, которые также влияют на величину интерферометрической когерентности. Снижение когерентности в охранной зоне трубопровода может также указывать на выемку грунта и перемещение транспорта. Используя карты когерентности, можно отслеживать работу служб или обнаруживать несанкционированную/незаконную активность.

– **Мониторинг состояния трубопроводов**

Сдвигения земной поверхности, различной природы, могут быть опасны для трубопроводов, и это является важным вопросом. Одним из

источников движения поверхности в несейсмических районах является вечная мерзлота. Сезонное таяние/замерзание верхнего слоя вечной мерзлоты делает поверхность нестационарной.

– **Движение пятен с помощью интерферометрии с базой, вдоль трассы полёта**

Однопроходная интерферометрия вдоль трассы (с двумя антеннами на борту космического аппарата, расположенными на расстоянии друг от друга) также является мощным инструментом. Он предоставляет информацию о текущих месторождениях, которая полезна для мониторинга состояния морских нефтяных месторождений. Другим применением является оценка дрейфа нефтяного пятна в случае утечки танкера [7].

3. Применение метода интерферометрии SAR для определения деформации земной поверхности на примере месторождения Каражанбас

3.1 Этапы обработки InSAR

Открытие данных спутника Sentinel-1 (рисунки 3.1 - 3.2):

Запустите приложение SNAP. Чтобы выполнить интерферометрическую обработку, входными продуктами должны быть два или более продукта SLC для одной и той же области, полученные в разное время. В примере ниже используется снимки за 20.12. - 23.12.2021гг (рисунки 3.3 а, б).

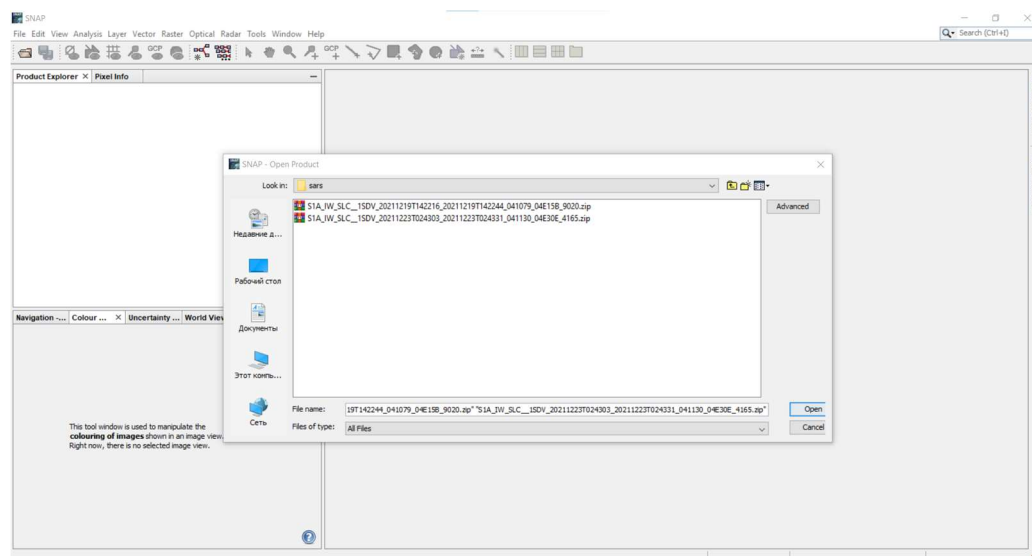


Рисунок 3.1 - Диалоговое окно «Открыть папку» (Open folder)

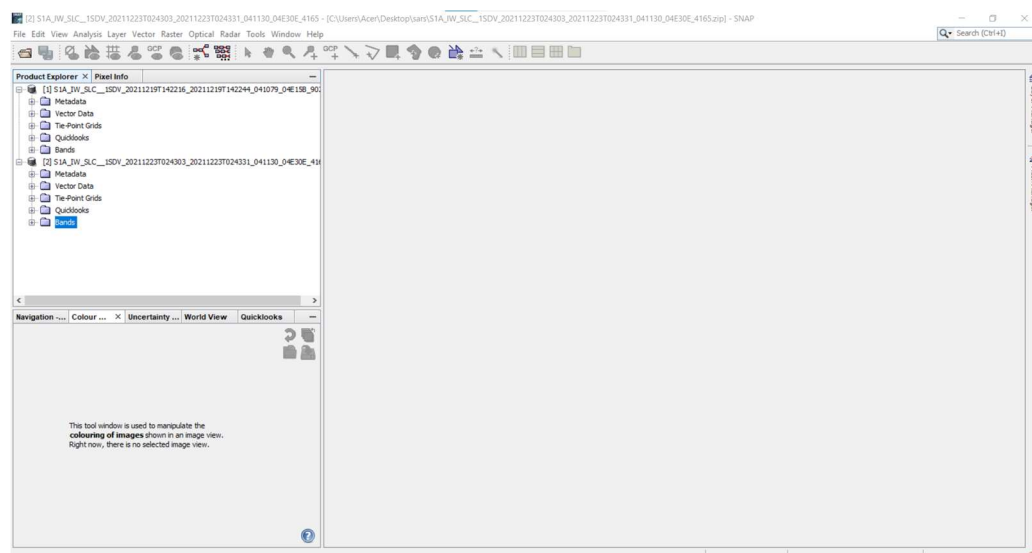


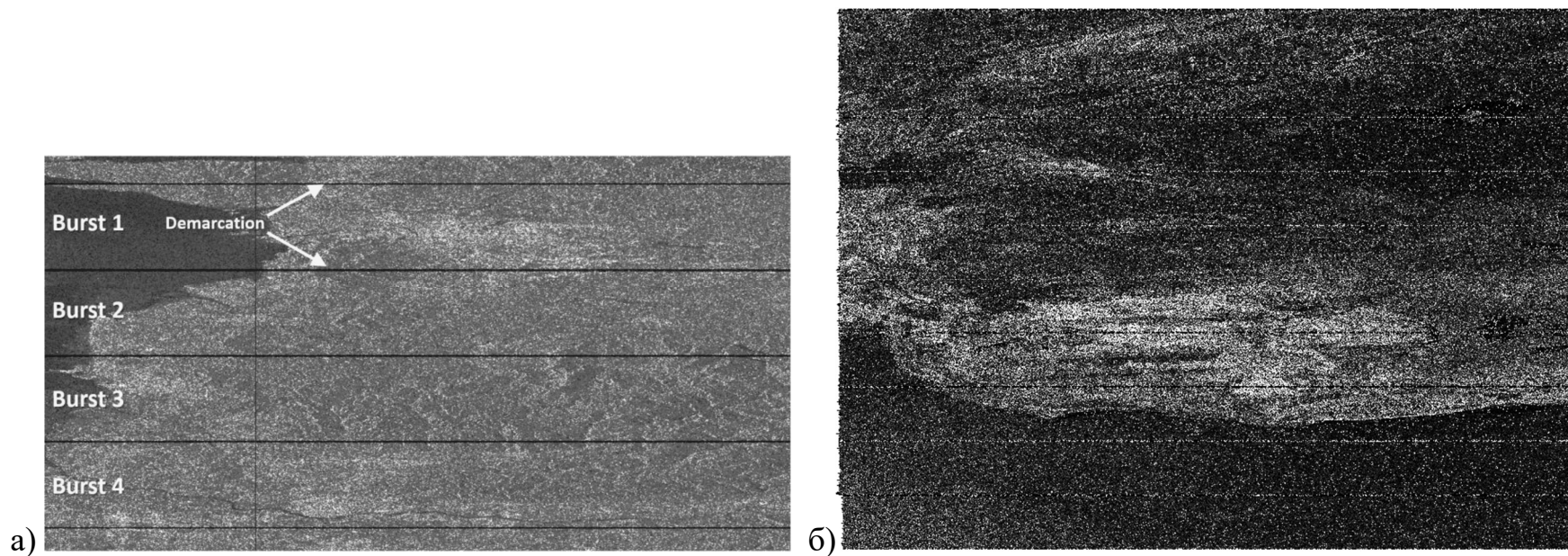
Рисунок 3.2 - Вкладка «Проводник папок-продуктов» (Product explorer)

В папке Bands вы найдете полосы (рисунок 3.2), содержащие действительную (i) и мнимую (q) части комплексных данных. Полосы i и q — это полосы, которые

фактически присутствуют в продукте, а полоса V (виртуальная) интенсивность помогает вам работать со сложными данными и визуализировать их.

Визуализация данных:

Чтобы просмотреть данные, дважды щелкните полосу Intensity_IW1_VV одного из двух изображений. Увеличьте изображение и панорамируйте его с помощью инструментов в окне навигации, отображаемом под окном Product Explorer. В пределах подполосы данные TOPS собираются пачками. Каждая вспышка отделена демаркационной зоной. Любые «данные» в пределах этих демаркационных зон могут считаться недействительными и должны быть заполнены нулями, но также могут содержать мусорные значения.



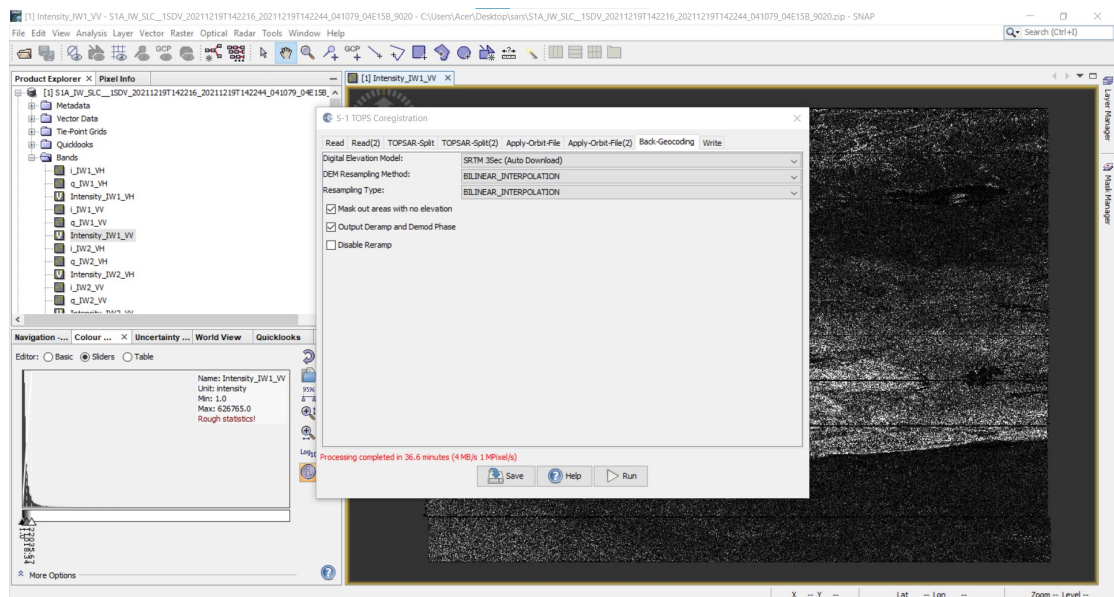
Рисунки 3.3(а, б) - Интенсивное изображение полосы IW1 с выявленными всплесками и демаркационными областями. Содержит модифицированные данные Copernicus Sentinel (2016 г.), обработанные ЕКА

Корегистрация данных:

Для интерферометрической обработки два или более изображения должны быть зарегистрированы в стеке. Одно изображение выбирается в качестве главного, а другие изображения являются «подчиненными». Пиксели в «ведомых» изображениях будут перемещены для выравнивания с основным изображением с точностью до субпикселя. Совместная регистрация гарантирует, что каждая наземная цель вносит свой вклад в один и тот же пиксель (дальность, азимут) как в главном, так и в «ведомом» изображении. Для TOPSAR InSAR используется S-1 TOPS Coregistration, как показано на рисунке 3.4.

Совместная регистрация TOPS состоит из ряда шагов, которые выполняются автоматически после начала обработки:

- Чтение двух продуктов данных;
- Выбор вспомогательной полосы с помощью TOPSAR-Split;
- Применение точной коррекции орбиты с помощью Apply-Orbit-File;
- Проведение базовой регистрации обратного геокодирования с помощью DEM.



Рисунки 3.4 – Корегистрация снимков

Формирование интерферограммы:

С помощью процесса интерферометрической обработки мы попытаемся устранить другие источники ошибок и оставить только интересующий фактор, которым обычно является деформация поверхности, связанная с событием.

Удаление фазы плоской земли выполняется автоматически на этапе формирования интерферограммы. Фаза плоской земли - это фаза, присутствующая в интерферометрическом сигнале из-за кривизны опорной

поверхности. Фаза плоской земли оценивается с использованием орбитальной информации и метаданных и вычитается из комплексной интерферограммы.

Как только продукт интерферограммы создан (продукт в Проводнике продуктов, дополненный Orb_Stack_ifg), разверните продукт и дважды щелкните полосу Phase_..., чтобы визуализировать интерферометрическую фазу (как в разделе Визуализация полосы). При увеличении масштаба вы все еще можете видеть демаркационные зоны между всплесками на этой начальной интерферограмме (рисунок 3.5). Это будет удалено, как только будет применена функция TOPS Deburst, чтобы плавно объединить все всплески в полосе в одно изображение, мы применяем оператор TOPS Deburst из меню TOPS Sentinel-1.

Интерферометрические полосы представляют собой полный 2π -цикл изменения фазы. Полосы отображаются на интерферограмме в виде циклов цветов, причем каждый цикл представляет относительную разницу в диапазоне, равную половине длины волны датчика. Относительное движение грунта между двумя точками может быть рассчитано путем подсчета полос и умножения на половину длины волны. Чем ближе края расположены друг к другу, тем больше деформация на земле.

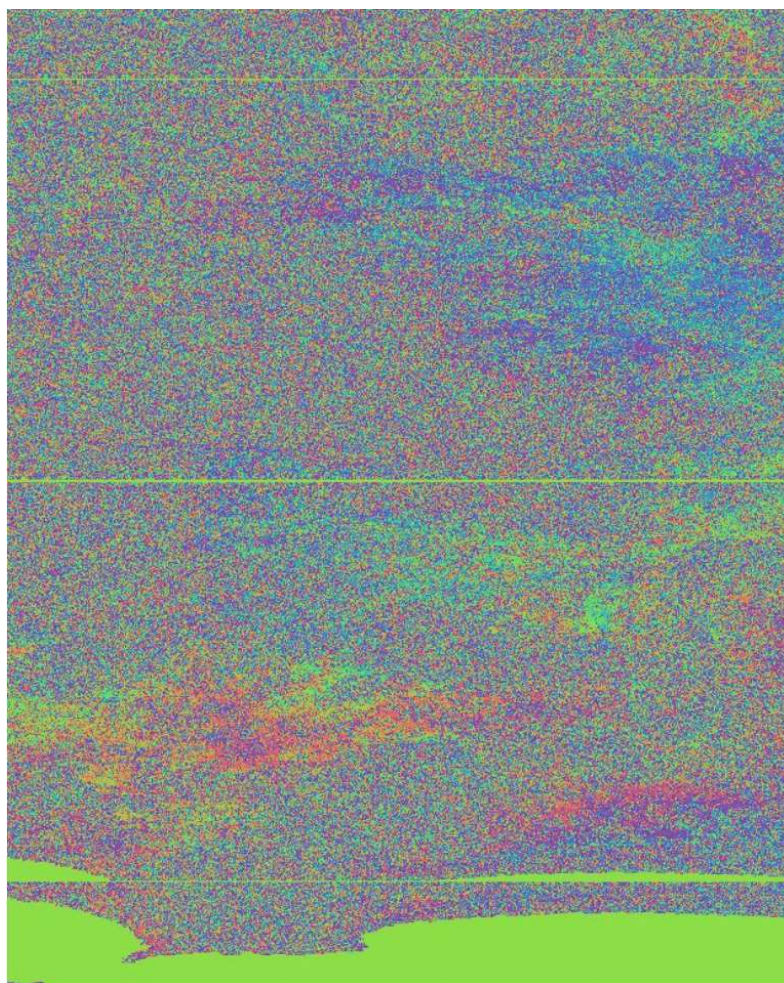


Рисунок 3.5 - Сформированные демаркационные линии интерферограммы

Удаление топографической фазы (рисунок 3.6):

Чтобы подчеркнуть фазовые сигнатуры, связанные с деформацией, топографические фазовые вклады обычно удаляются с использованием известного DEM. В SNAP оператор удаления топографической фазы смоделирует интерферограмму на основе эталонной DEM и вычитет ее из обработанной интерферограммы.

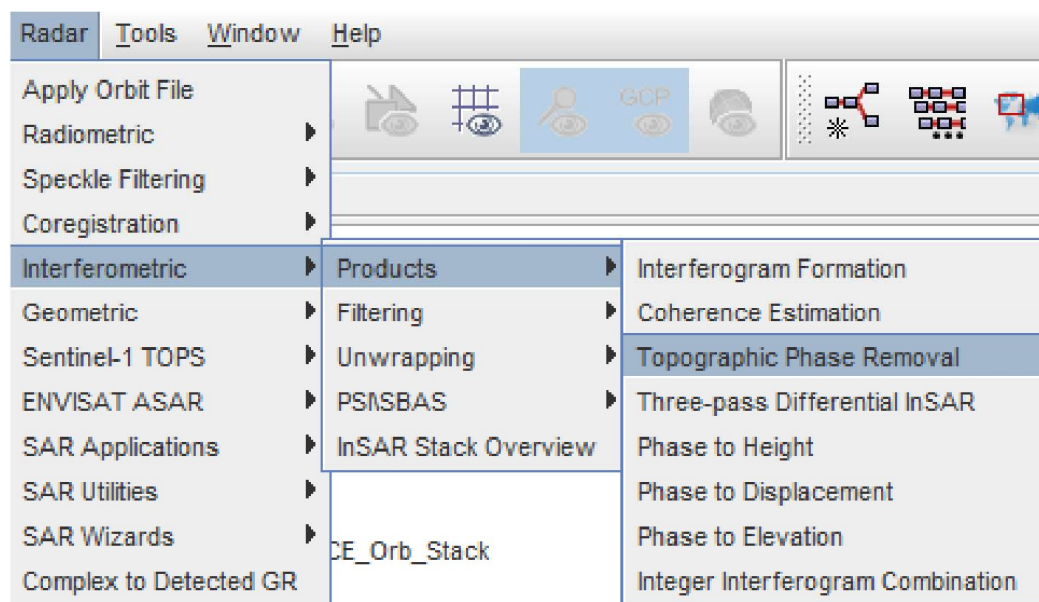


Рисунок 3.6 - Удаление топографической фазы

После удаления топографической фазы результирующий продукт (с добавлением Orb_Stack_ifg_deb_dinsar) будет в значительной степени лишен топографического влияния.

Интерферометрическая фаза может быть искажена шумом от:

- Временная декорреляция;
- Геометрическая декорреляция;
- Объемное рассеяние;
- Ошибка обработки;

Чтобы иметь возможность правильно анализировать фазовые сигнатуры на интерферограмме, отношение сигнал/шум будет увеличено за счет применения методов многоспектральной и фазовой фильтрации.

Многоуровневая и фазовая фильтрация:

Поскольку фазовый диапазон является виртуальным, это всего лишь временная визуализация интерферограммы. После выполнения многоуровневого просмотра эта полоса исчезнет, но она будет восстановлена на следующем этапе фильтрации фазы Гольдштейна.

По сути, мультипросмотр выполняет пространственное усреднение числа соседних пикселей, чтобы подавить шум и правильно

пропорционировать изображение. Этот процесс происходит за счет пространственного разрешения.

После фазовой фильтрации интерферометрическая фаза значительно улучшается, и теперь отчетливо видна картина, связанная с деформацией при разработке месторождения, как показано на рисунке 3.7.

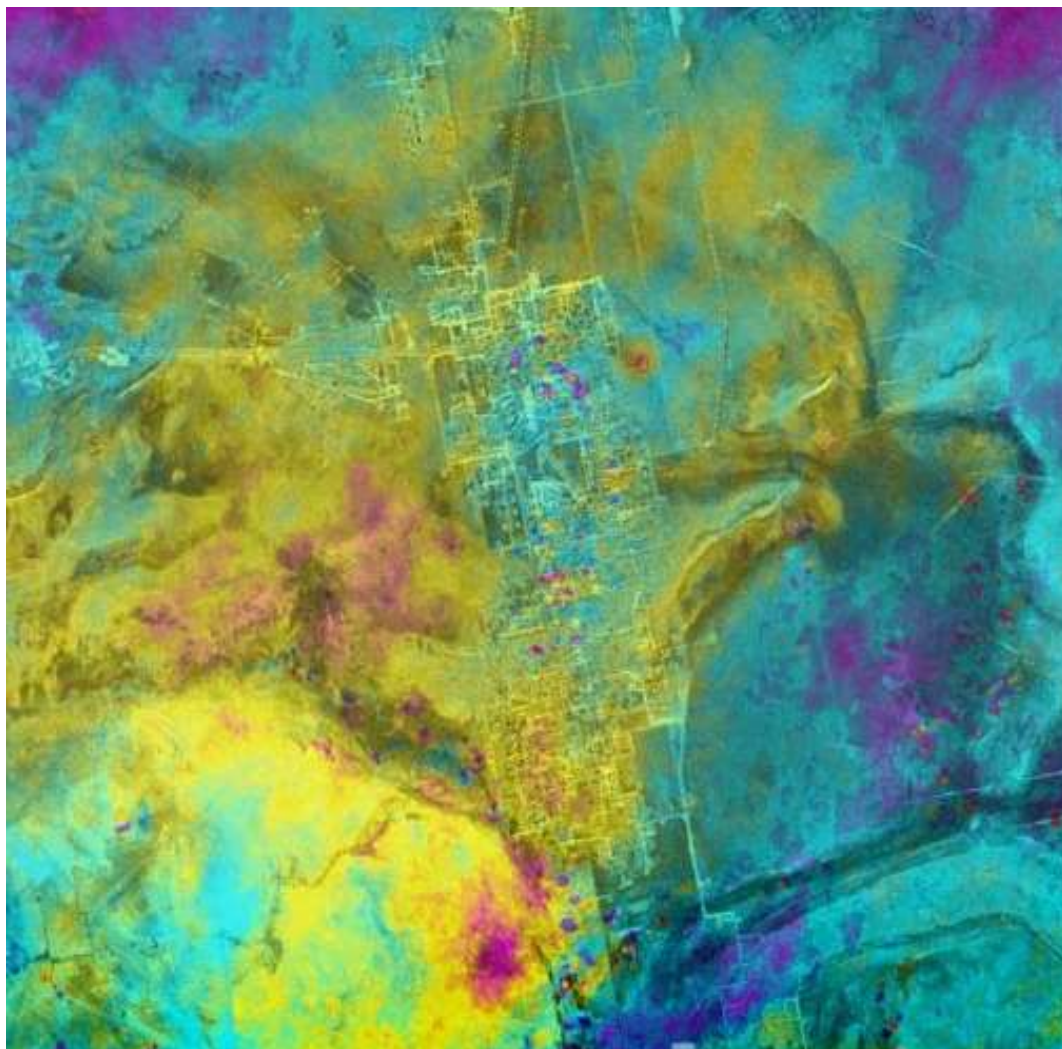


Рисунок 3.7 – Интерферограмма Каражанбас

Однако методам InSAR и DInSAR часто мешают атмосферные эффекты и пространственно-временные декорреляционные помехи. Первый член ошибки обусловлен нестабильными атмосферными условиями в два момента получения изображения, что вызывает фазовую задержку в распространении радиолокационного сигнала. Другой генерируется, когда характеристики рассеяния объекта изменяются в разные моменты изображения.

Для решения таких проблем в 2002г. итальянские исследователи Бернардино П., Форнаро Г. и др., ввели алгоритм сингулярной декомпозиции (SVD) в процесс расчета деформации для решения задач с дефицитом ранга и развили его в классический метод SBAS.

3.2 Обработка методом SBAS

По сравнению с DInSAR, в методе SBAS есть две очевидные особенности. Во-первых, для этого требуется много изображений SAR в одной и той же области в разное время. Во-вторых, он извлекает сигналы только из точек, которые имеют стабильное рассеяние. Напротив, DInSAR получает информацию о деформации во всех точках всего изображения.

Просадку над месторождением Каражанбас измеряли с помощью интерферометрического анализа архивных данных SAR (Synthetic Aperture Radar).

Используемый набор данных состоит из 34 изображений Sentinel-1, полученных с 2016 по 2021 год (рисунок 3.8). Карты деформации изучаемой области были составлены с использованием постоянных рассеивателей (PS) и малой базовой линии. Архивные данные Sentinel-1 были обработаны с использованием StaMPS/MTI. Пакеты спутниковых данных месторождения Каражанбас приведены в таблице 3.1.

StaMPS - это программный пакет, который позволяет извлекать перемещения грунта из временных рядов данных радара с синтезированной апертурой (SAR). Пакет включает в себя методы постоянного рассеивания (PS) и малой базовой линии (SBAS), а также возможность комбинировать оба подхода.

StaMPS/MTI — это улучшенная и расширенная версия программного комплекса STAMPS, реализует постоянный рассеиватель (PS) InSAR, метод малой базовой линии (SBAS) и комбинированный многовременной метод InSAR.



Рисунок 3.8 – Изображения из архива Sentinel-1

Таблица 3.1 Пакеты спутниковых данных месторождения Каражанбас

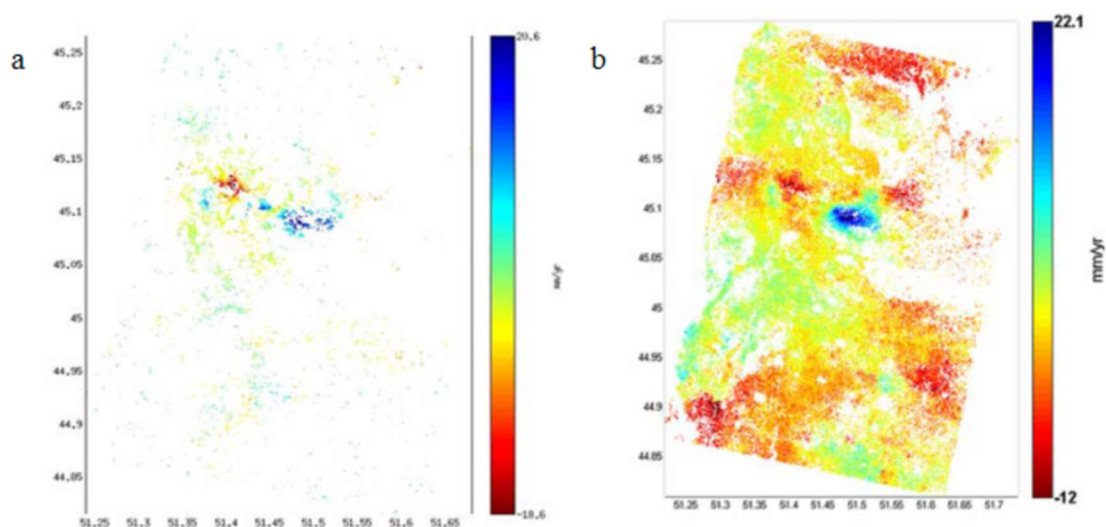
№	Дата снимка	Орбита	$V_{\perp}$, м.	Эффект Доплера, Гц	№	Дата снимка	Орбита	$V_{\perp}$	Эффект Доплера, Гц
1	27.08.2016	12780	x	x	18	17.09.2019	29055	-66	-4.2
2	18.04.2017	5209	-62	28	19	11.10.2019	29405	-41	11
3	30.05.2017	16805	-98	35	20	16.11.2019	29930	47	2
4	11.06.2017	16980	43	29	21	15.03.2020	31680	-44	-6
5	05.07.2017	17330	49	13	22	02.05.2020	32380	-65	22
6	16.08.2017	6959	-122	30	23	19.06.2020	33080	41	15
7	03.09.2017	18205	-5	0.4	24	01.07.2020	33255	-71	24
8	03.10.2017	7659	1	0.02	25	06.08.2020	33255	-12	0.8
9	02.11.2017	19080	43	-8.5	26	11.09.2020	34305	-18	3.2
10	02.12.2017	8534	32	12	27	03.04.2021	37280	-123	-11
11	13.01.2018	20130	18	0.55	28	09.05.2021	37805	23	1.1
12	18.02.2018	20655	50	-2	29	14.06.2021	38330	-2	0.04
13	02.03.2018	20830	50	-2	30	20.07.2021	38855	-41	-7
14	07.04.2018	21355	-111	15	31	01.08.2021	39030	-51	0.9
15	01.05.2018	21705	16	-0.4	32	06.09.2021	39555	-31	1.07
16	12.06.2018	11334	15	-1.1	33	12.10.2021	40080	-31	1.07
17	24.07.2018	22930	-24	2	34	29.11.2021	40780	13	-0.3

Стандартная цепочка этапов интерферометрической обработки в StaMPS/MTI:

- Генерация интерферограммы;
- Оценка фазовой стабильности;
- Обнаружение PS ;
- Оценка смещения;

Результаты:

На рисунке 3.9 показаны результаты обработки PS и SBAS, где указанное оседание может быть потенциально связано с разработкой нефтяных месторождений. Результаты по полю показывают медленные тенденции смещения ± 20 мм/год.



(а) Результат постоянных рассеивателей (PS);

(б) Результаты небольшого базового подмножества (SBAS)

Рисунок 3.9 результаты обработки PS и SBAS

Согласно результатам PS, как показано на рисунке 3.9, было идентифицировано 6130 точек PS с сигналом высокой когерентности, в то время как 72 488 точек PS были выбраны методом SBAS. Для дальнейшего анализа обнаруженные точки SBAS были интерполированы методом IDW в программном обеспечении ArcGIS (рисунок 3.10).

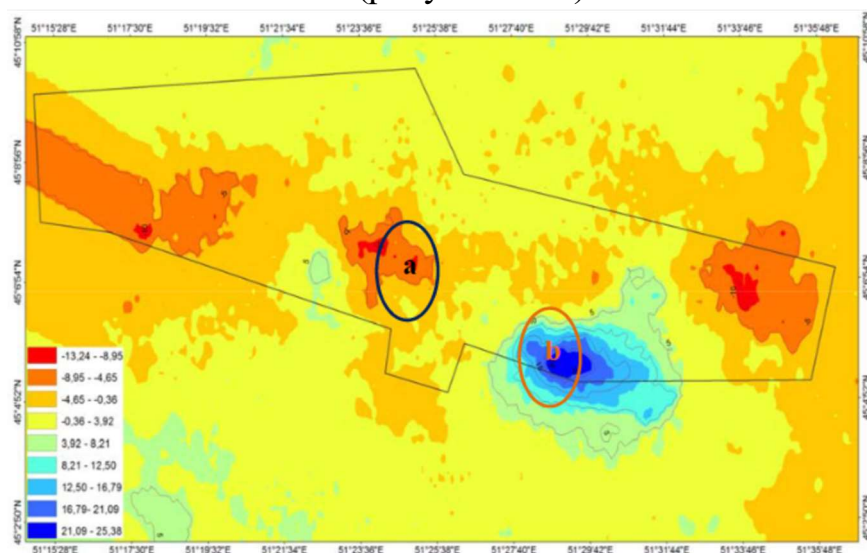


Рисунок 3.10 Интерполированная карта вертикальных перемещений месторождения Каражанбас, скорость (мм/год) Для деформаций в обведенных областях (а, б) показаны графики на рисунках 3.11-3.12.

Обработка архивных данных с использованием методов StaMPS выявила несколько нестабильных зон на лицензионном участке месторождения. В юго-восточной и центральной частях наблюдается высокоамплитудное проседание земной поверхности. Как видно из рисунков 3.11-3.12, график для обведенной зоны на рисунок 3.10 PS указывает на радиус 100 метров, характеризующийся оседанием с амплитудой -40 мм.

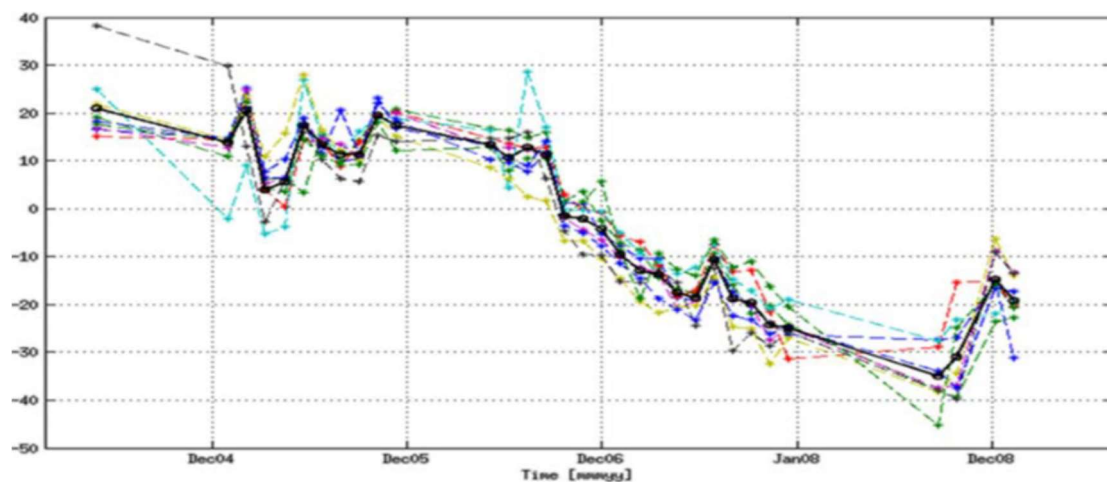


Рисунок 3.11 Скорость оседания PS (a)

Большая часть оседания в районе месторождения, затронутого нефтегазовой деятельностью. Проверка результатов SAR - интерферометрии с наземными наблюдениями показала точную корреляцию. За период наблюдений наблюдается зона поднятия со скоростью 20 мм в год.

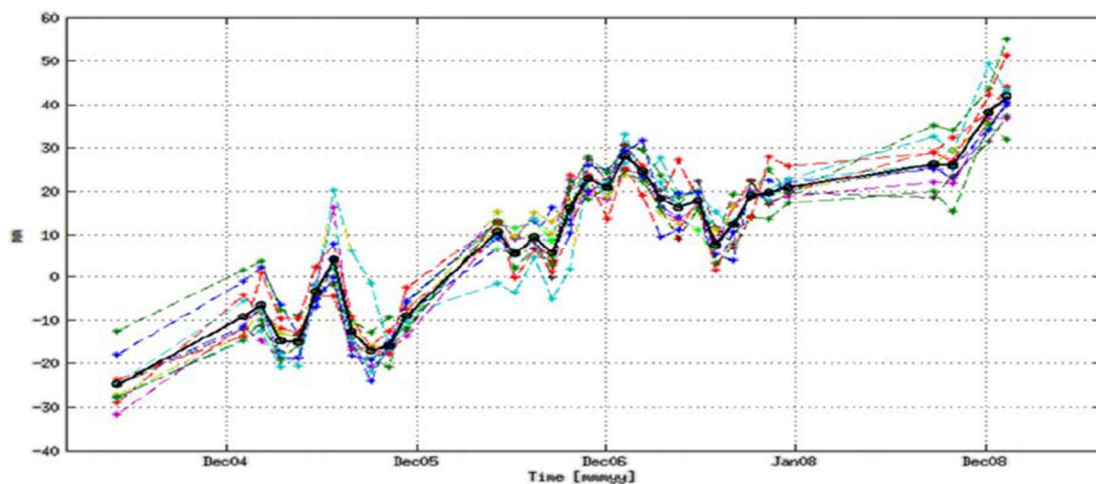


Рисунок 3.12 Скорость оседания PS (b)

Из обработки архивных данных Sentinel-1 можно сделать вывод, что существуют различные участки территории, имеющие значительные перемещения за 5 лет наблюдения.

4 Мероприятия по охране недр и окружающей среды

На основе действующих требований законодательства Республики Казахстан по охране недр и окружающей среды, соответствующих директивных указаний и положений по безопасному ведению работ при производстве геологоразведочных работ и разработке нефтяных и газовых месторождений проводится весь комплекс природоохранных работ, включающий мероприятия, направленные на охрану недр, на защиту атмосферного воздуха, водных ресурсов, почвы и также на восстановление первоначальных природных комплексов. Работы осуществляются в соответствии с утверждёнными проектными документами на разведку и разработку месторождения.

4.1 Охрана недр

При разбурировании и эксплуатации месторождения постоянно осуществляется комплекс мероприятий по охране недр.

Принятые конструкции скважин, техника и технология бурения позволяют соблюдать требования по охране недр и рационального использования природных ресурсов. Принимаются меры по предотвращению открытого фонтанирования, поглощений промывочной жидкости, обвалов стенок скважин и межпластовых перетоков нефти, воды и газа.

Надежная изоляция в скважинах нефтеносных, газоносных и водоносных пластов по всему разрезу достигается разобщением пластов, путем перекрытия их обсадными колоннами с последующей цементацией стенок скважин выше башмака предыдущей колонны, чаще до устья. Сохраняется естественное состояние призабойных зон.

При освоении продуктивных горизонтов применяются меры для предотвращения ухудшения проницаемости призабойной зоны, для этого применяются качественные промывочные жидкости, максимально сокращается время контакта промывочной жидкости с коллектором и не допускается чрезмерное повышение противодавления на пласт-коллектор.

4.2 Охрана окружающей среды

Мероприятия для эффективной охраны почв от загрязнения и нарушения включают в себя следующие решения:

- движение наземных видов транспорта только по имеющимся и отведенным дорогам;
- своевременный ремонт существующих временных дорог для транспортировки временных сооружений, оборудования, материалов;
- меры по нераспространению загрязнения в случае разлива нефти, нефтепродуктов и различных химических веществ;
- очистка территории, загрязненной нефтью и нефтепродуктами;
- контроль за соблюдением положений плана по охране земель от

загрязнения, разрушения и истощения;

- захоронение промышленных и хозяйственно-бытовых отходов только на специально оборудованных полигонах;
- сохранение растительности;
- проведение на заключительном этапе обустройства месторождения технической рекультивации.

Для предотвращения загрязнения окружающей среды твердыми отходами, в соответствии с нормативными требованиями в Республике Казахстан («Единые правила разработки...» 1996 г.) необходимо следующее:

- инвентаризация, сбор промотходов с их сортировкой по токсичности в специальных емкостях и на специально оборудованных полигонах;
- повторное использование отходов в случаях, определенных проектом;
- контроль за выполнением запланированных мероприятий.

В целях снижения негативного влияния производственной деятельности на ландшафты, предусмотрены следующие меры:

- проектирование объектов эксплуатации месторождения и вдоль трассовых технологических сооружений на ограниченных в плане участках;
- сохранение естественного растительного покрова и почв на осваиваемых территориях;
- контроль за состоянием и сохранением поверхностных условий ландшафта на всех этапах производственной деятельности;
- подземный способ прокладки трубопроводов.

По охране растительного и животного мира предусмотрены следующие мероприятия:

- ограничения техногенной деятельности вблизи участков с большим биологическим разнообразием;
- маркировка и ограждение опасных участков;
- создание ограждений для предотвращения попадания животных на производственные объекты;
- принятие административных мер для пресечения браконьерства;
- организация и проведение мониторинговых работ;
- запрет неорганизованных проездов на территории месторождения.

Техническая рекультивация земель, нарушенных в ходе разведки и разработки месторождения включает следующий объем работ:

- передислокацию всех временных сооружений и объектов обустройства месторождения;
- очистку территории от строительного мусора, металлолома, остатков древесины и др. промотходов;
- вертикальную планировку нарушенной территории (срезку образованных бугров, засыпку ям).

Мероприятия по охране и рациональному использованию водных ресурсов:

В районе месторождения Каражанбас, постоянные водотоки и водоемы отсутствуют. Поверхностные воды присутствуют в небольшом количестве, зависящие в первую очередь от времени года. Здесь широко распространены бессточные впадины. Эти понижения окружены сухими руслами, скорее ложбинами стока, в которых поверхностный сток может осуществляться лишь весной и осенью.

В гидрогеологическом отношении территория месторождения Каражанбас входит в состав Прикаспийского артезианского бассейна. Сложный комплекс природных, геоструктурных, гидрогеологических и климатических условий предопределили отсутствие в районе пресных подземных вод.

Подземные воды по условиям образования и залегания разделены на два структурных этажа.

Верхний этаж характеризуется распространением безнапорных (грунтовых) вод со свободной поверхностью и приурочен к современным новокаспийским и верхнечетвертичным хвалынским морским отложениям. Водоносные горизонты имеют хорошую гидравлическую связь между собой и образуют единый водоносный комплекс четвертичных отложений. Комплекс характеризуется низкими водопроводящими свойствами, градиентом напора и высокой минерализацией подземных вод. Эти подземные воды залегают вблизи дневной поверхности, на территории месторождения абсолютные отметки уровня подземных вод составляют от - 29.7 до -24.8 м.

Нижний этаж характеризуется распространением напорных подземных вод. Питание здесь осуществляется за пределами рассматриваемой территории, на участках выхода пород на дневную поверхность. Этот этаж включает в себя водоносные комплексы, приуроченные к терригенным отложениям нижнего мела, а также к продуктивным толщам неокома и юры.

Для предупреждения загрязнения подземных вод осуществляются следующие технологические мероприятия:

- контроль на всех этапах технологического процесса за количеством и качеством потребляемой воды;
- исключение какие-либо стоков с площадок технологических сооружений на рельеф, весь сбор стоков с площадок производится в канализационную емкость с гидрозатвором с последующей утилизацией;
- отведение хозяйственно-бытовых стоков в канализационную емкость с последующим вывозом;
- гидроизоляция технологических площадок, исключая разлив нефтепродуктов на рельеф;
- внедрение системы автоматики и телемеханики, обеспечивающей работу системы сбора и транспорта нефти в безаварийном режиме;
- обеспечение регулярного режима наблюдений через сеть

инженерных (наблюдательных) скважин за уровнем и качеством подземных вод на месторождении.

Комплекс мероприятий по уменьшению выбросов в атмосферу:

Сокращение объемов выбросов и снижение приземных концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе обеспечивается комплексом мероприятий, предусматривающим применение современного технологического оборудования, прогрессивных технологий производства, в том числе:

- установка на устье скважины противовыбросового оборудования;
- создание закрытой системы сбора и сепарации газа;
- частичное использование добываемого попутного газа на собственные нужды;
- автоматическое отключение скважин отсекателем в случае порыва выкидной линии, установление гидрофицированных задвижек в нефтегазовых сетях;
- покрытие изоляцией усиленного типа со 100% просвечиванием стыков нефтегазовых сетей на переходах через искусственные и неискусственные преграды;
- обеспечение прочности и герметичности технологических аппаратов и трубопроводов;
- своевременное проведение планово-предупредительных ремонтов и профилактики технологического оборудования;
- размещение вредных и взрывопожароопасных процессов в отдельных помещениях и на открытых площадках

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной диссертационной работе был выполнен анализ современных методов наблюдений за деформацией земной поверхности.

Выявлено, что технология InSAR идеально подходит для измерения величины деформации земной поверхности, связанной с разработкой месторождений нефти и газа, опасными природными явлениями (землетрясения, извержения вулканов, оползни). Это дешевле, чем получение разреженных точечных измерений в результате трудоемких измерений с помощью нивелирования и глобальной системы позиционирования (GPS).

Определяя конкретные области деформации в более широких областях, снимки InSAR также могут быть использованы для лучшего позиционирования специализированных приборов (таких как экстензометры, сети GPS и т.д.), предназначенных для точного измерения и мониторинга деформации поверхности на ограниченных участках. Обработка результатов InSAR – один из наиболее перспективных и экономически эффективных способов определения поля вектора смещений земной поверхности с высокой точностью и достаточной пространственной плотностью.

Определена деформация и динамика изменения над месторождением Каражанбас с применением метода SBAS. Дана количественная оценка скорости смещения земной поверхности (оседания и подъема) над нефтяным месторождением Каражанбас.

При применении данной методики мониторинга деформаций земной поверхности значительно повысится безопасность и экономическая эффективность разработки и на других нефтегазовых месторождениях.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Offshore Technology. Karazhanbas Heavy Oil Field, Kazakhstan // Электронная версия на сайте <https://www.offshore-technology.com/marketdata/karazhanbas-heavy-oil-field-kazakhstan/>.
- 2 Modeling of geodynamic processes at hydrocarbon deposit / Kenesbayeva A, Nurpeisova M, Levin E. // Вестник Satbayev University. Series of geology and technical sciences. – 2021. - №4 (448). - С.6–8. - ISSN 2224-5278.
- 3 Геодинамический мониторинг на разрабатываемых месторождениях нефти и газа / Е.В. Викторова, С.Ф. Изюмов, Ю.О. Кузьмин, В.Н. Попов // Семинар № 1. – 2014. - №1 – С. 1-2.
- 4 Baek, Jin. Ground Deformation Monitoring by Radar Interferometry and Subsurface Modeling of Oil Sands // University of Calgary, Calgary, AB. – 2014. – pp. 60 - 70.
- 5 SAR at a glance. TRE ALTAMIRA. Электронная версия на сайте <https://site.tre-altamira.com/insar/>.
- 6 SAR interferometry for topographic mapping and surface deformation monitoring / Urs Wegmüller, Tazio Strozzi, Charles Werner, and Andreas Wiesmann // Photogrammetric J. of Finland. – 2002. - Vol. 18, No. 1. - pp. 24-32.
- 7 Применение интерферометрии для мониторинга районов добычи и транспортировки нефти и газа / Александр З., Людмила З. // Электронная версия на сайте <https://rogtecmagazine.com/wp-content/uploads/2014/10/114.pdf>.
- 8 Review of the SBAS InSAR Time-series algorithms, applications, and challenges / Shaowei Li, Wenbin Xu, Zhiwei Li // Geodesy and Geodynamics. – 2022. - Volume 13, Issue 2 – pp. 114-116.



SATBAYEV
UNIVERSITY



СӘТБАЕВ ОҚУЛАРЫ
САТБАЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ
SATBAYEV CONFERENCE

"СӘТБАЕВ ОҚУЛАРЫ-2022. ҚАЗІРГІ ҒЫЛЫМИ ЗЕРТТЕУЛЕРДІҢ ТРЕНДТЕРІ" ХАЛЫҚАРАЛЫҚ ҒЫЛЫМИ-ПРАКТИКАЛЫҚ КОНФЕРЕНЦИЯ ЕҢБЕКТЕРІ



PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL
SCIENTIFIC AND PRACTICAL CONFERENCE
"SATBAYEV CONFERENCE - 2022.
TRENDS IN MODERN SCIENTIFIC RESEARCH"

2

TOM
VOLUME

12.04.2022

**"СӘТБАЕВ ОҚУЛАРЫ-2022. ҚАЗІРГІ ҒЫЛЫМИ ЗЕРТТЕУЛЕРДІҢ
ТРЕНДТЕРІ" ХАЛЫҚАРАЛЫҚ ҒЫЛЫМИ-ПРАКТИКАЛЫҚ
КОНФЕРЕНЦИЯ ЕҢБЕКТЕРІ**

12 сәуір 2022 ж.

II Том

**ТРУДЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ «САТБАЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ – 2022. ТРЕНДЫ
СОВРЕМЕННЫХ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ»**

12 апреля 2022 г.

Том II

**PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
CONFERENCE "SATBAYEV CONFERENCE - 2022. TRENDS IN MODERN
SCIENTIFIC RESEARCH"**

12 April 2022

Volume II

Алматы 2022

ТОПЫРАҚТЫҢ МҰНАЙМЕН ЛАСТАНУЫ ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ҚАЙТА ӨНДЕУ

Мейрам Г.М. ^{id}, Сағын Р.А. ^{id}

Satbayev University, Алматы қ., Қазақстан

gulden07041998@mail.ru

Андатпа. Мақалада 2019-2020 жылдардағы бүлінген жерлердің динамикасы және мұнай мен оның өнімдерінің топыраққа және бүкіл экология жүйесіне кері әсері көрсетілген. Мұнай кенішіндегі топырақтың ластануы классификацияға сәйкес кластарға бөлінеді. Әлемдік тәжірибенің бүгінгі ахуалын сараптай отырып және МакДжил эксперименттерінің деректері негізінде Қазақстанның климаты жағдайында рекультивациялауға жататын топырақтарда мұнай құрамының болжамды норматив кестесі жасалынғаны көрсетілді. Республикадағы ластану дәрежесі бойынша ең аса қатты кен орындарының талдауы өткізілді.

Мұнай қалдықтарын қайта өңдеуден шығатын құрылыста қолданылатын материалдар тізбегі берілген және пайдаланудың бірнеше нұсқалары қарастырылды. Біріншіден, қоршаған ортаға техногенді әсерін азайтады, екіншіден, қалдықтарды сақтауға төленетін төлем мөлшерін азайтады, үшіншіден, қайта өңдеуден алынған өнімді әрі қарай дамытып, басқа өндіріс орындарында қолданып, пайда табуға болатындығы көрсетілді.

Негізгі сөздер. Мұнай, ШРК (шекті рұқсат етілген концентрациясы), топырақ, рекультивация, ластану.

Кейінгі жылдары республикада мұнай өнеркәсіптік объектілерін, желілік құрылыстарды және басқа да қосалқы кәсіпорындарды салу барысында, пайдалы қазбалардың кен орындарын игеру, геологиялық барлау жұмыстарын жүргізу кезінде бұзылған 243,4 мың га жер анықталған, оның 55,8 мың гектары игерілген және онда да рекультивациялық жұмыстар жүргізілген деп санауға болады. Олардың басым бөлігі Маңғыстау, Қарағанды, Қостанай, Ақмола, Шығыс Қазақстан, Ақтөбе, Павлодар облыстарына қарайды.

Өңірлік жоспарда мұнай қалдығымен бүлінген жерлердің ең көбі төмендегі үш облыс территориясында орналасқан: Маңғыстауда – 70,5 мың га бүлінген жердің 9,4 мың га қалпына келтірілген, Қарағанды облысында – тиісінше 45,3 мың га бүлінген жердің 10,6 мың га қалпына келтірілген және Қостанай облысында – тиісінше 38,3 мың га бүлінген жердің 13,8 мың га қалпына келтірілген.

Республиканың бүлінген аумағында 3 422 кәсіпорын мен ұйым бар. 2020 жылы республика бойынша 1,6 мың га ластанған, 5,8 мың га бүлінген жерлер пайдаланылған және 5,8 мың га бүлінген жерлер қалпына келтірілген. 2019–2020 жылдардағы ластанған жерлердің динамикасы 1-ші кестеде көрсетілген [1].

Кесте 1 - 2019–2020 жылдардағы бүлінген жерлердің серпіні, мың га

	2019	2020
Бұзылған жерлер	2,8	1,6
Пайдаланылған бүлінген жерлер	6	5,8
Қалпына келтірілген бүлінген жерлер	5,9	5,8

Қоршаған ортаны мұнаймен ластануына қарсы әдістеме жасау өте күрделі іс. Топырақтың мұнаймен ластануына реакциясы, олардың осы ластанушы заттарға сезімталдығы әр түрлі топырақ аймақтарында, сондай-ақ іргелес ландшафттарда ерекшеленеді.

Топырақтағы мұнай ластануының шекті рұқсат етілген концентрация (ШРК) түріне байланысты және топырақ үшін 0,1 мг/кг құрайды, алайда топырақтағы мұнайдың жалпы құрамының ШРК стандартталмаған; мұнай өнімдерінің кейбір түрлері үшін ШРК белгіленген: мысалы, бензол – 0,3, толуол – 0,3 және ксилолға да – 0,3 мг/кг мөлшері алынған.

Топырақ пен ондағы мұнайдың төменгі деңгейі, одан жоғары табиғи орта сапасының төмендеуі жоғары қауіпсіз концентрация деңгейі ретінде қарастырылады. Топырақтағы мұнайдың концентрациясының жоғары қауіпсіз деңгейі топырақ пен оның түрлері, құрамы мен қасиеттері, сол аймақтағы климаттық деңгей, мұнай өнімдерінің құрамы, өсімдік түрлері,

флора мен фаунаының классикалық экожүйесі және т.б. сияқты көптеген факторлардың үйлесуіне байланысты болып келеді.

Топырақтағы мұнайдың концентрациясының жоғарғы қауіпсіз деңгейін ондағы шекті концентрацияның болжамды деңгейі ретінде қабылдауға болады. Топырақтың мұнаймен ластануының болжамды шекті деңгейін ластанудың төменгі рұқсат етілген деңгейі деп санау ұсынылады, онда осы табиғи жағдайда топырақ бір жыл ішінде өзінің өнімділігін қалпына келтіреді, ал топырақ биоценозы үшін жағымсыз салдар өздігінен жойылуы заңдылық. Жалпы санитарлық көрсеткіш ретінде рұқсат етілген концентрацияның болжамды деңгейін бағалау топырақтың жоғарғы гумустық-аккумуляциялық горизонты үшін (шамамен 20–30 см тереңдікке дейін) берілуі айқындалған.

Топырақтағы мұнай мен оның өнімдерінің рұқсат етілген концентрациясының болжамды деңгейі топырақтың барлық түрлері мен табиғи аймақтар үшін бірдей бола алмайтыны анық. Бұл заттың топырақ пен өсімдіктердің қасиеттеріне әсерін анықтайтын факторларға, топырақтың өзін-өзі тазарту әлеуетіне және ластанудың дәл сол түріне байланысты болатыны анықталып отыр. Мұндай факторлардың негізгілері-ластаушы заттың химиялық құрамы, топырақтың қасиеттері мен құрамы, осы аймақтағы физикалық-географиялық (негізінен климаттық) жағдайларына тікелей байланысты.

МакДжил шолуында [2] әртүрлі елдердің зерттеушілерінің топырақтағы мұнайдың қауіпсіз шектерін анықтау туралы мәліметтері келтірілген. Сараптамада эксперимент жүргізілген аудандардың әртүрлі климаттық және топырақ жағдайларына байланысты айтарлықтай ерекшеленетіні көрсетілген.

Әлемдік тәжірибенің бүгінгі ахуалын сараптай отырып және МакДжил [2] эксперименттерінің деректері негізінде Қазақстанның климаты жағдайында рекультивациялауға жататын топырақтарда мұнай құрамының болжамды норматив кестесі жасалынған [3].

Кесте 2 - Құрамында мұнайдың әртүрлі мөлшері бар топырақтың бұзылуының салыстырмалы дәрежесі

Бұзылу дәрежесі	Топырақтағы мұнай мөлшері, мг / кг (кұрғақ топырақ)
Жеңілден орташа деңгейге дейін: арнайы шаралар болмаған кезде өсімдік өсуінің уақытша әлсіреуі байқалады	5000-20000
Орташа деңгейден жоғары деңгейге дейін: өсімдіктердің тек кейбір түрлері қалыпты дами алады; топырақты қалпына келтіру үш жыл ішінде мүмкін; табиғи қалпына келтіру одан 2-3 есе көп уақытты алады	20000-50000
Жоғарыдан өте жоғары деңгейге дейін: топырақ мұнайды 10 см тереңдікке дейін сіңіреді; бірнеше қуаңшылыққа төзімді өсімдіктер ғана өмір сүреді; табиғи қалпына келтіру 20 немесе одан да көп жылға созылады	50000 - нан жоғары

Топырақ пен қоршаған ортаның ластануының үлкен үлесі Атырау облысына – 59 %, тиесілі Ақтөбе облысына – 19 %, Батыс Қазақстан облысына-13% және Маңғыстау облысына – 9% тиесілі.

Батыс Қазақстандағы мұнаймен ластануының жалпы ауданы 194 мың га жер аумағын құрайды, ал төгілген мұнай көлемі – 5 млн тоннадан астам. Мәселен, Атырау облысындағы зерттеулер Мақат кен орнының маңында топырақтың мұнаймен ластануының неғұрлым жоғары деңгейі табылғанын көрсетті. Молынан май сіңген учаскелерде мұнайдың максималды мөлшері 172 480 мг/кг-ға жетеді, Қазақстанда мұнайдың шекті рұқсат етілген концентрациясы 100 мг/кг құрайды, топырақтың мұнаймен ластануының жоғары деңгейі Доссор, Комсомольское, Таңатар, Тентексор, Искенде 132 туылған жер бетіне жақын жерде табылды. Мұнда ШРК 24-тен 138-ге дейін өзгереді.

Мұнайдың уыттылығы оның құрамына (парафиндер, битумдар, жеңіл фракциялар, күкірт қосылыстары), булану және микробиологиялық ыдырау қабілетіне, тығыздығы мен тұтқырлығына тікелей байланысты. Зерттеулер көрсеткендей, топырақтағы мұнай концентрациясы 80 мг/кг-нан аз (шамамен 64 мг/кг), тест өсімдіктерінің тұқымдарының өнгіштігі байқалды. 400 мг/кг (320 мг/кг) жоғары концентрацияда тұқымның өнуі тоқтағаны байқалды. Батыс өңірдегі мұнай өнімдерінің жылдан-жылға артуы топырақтың микробиологиялық қасиеттерінің қайтымсыз өзгеруіне әкеледі. Жеңіл фракциялар мұнайдың құрамында ең жоғары уыттылыққа ие, олардың ішінде ең алдымен тірі организмдерде қатерлі ісік тудыруы мүмкін, канцерогенді полициклді хош иісті көмірсутектерді атап өткен жөн. Бұл топта ең қуатты және кең таралған ластаушы заттардың бірі бензопирен болып табылады, оның топырақтағы рұқсат етілген концентрациясы 0,02 мг/кг тең.

Топырақтың мұнаймен ластануының ең жоғары деңгейі Мақат кен орнының маңында табылды. Қатты майланған учаскелерде мұнайдың ең көп мөлшері 172480 мг/кг-ға жетеді, Қазақстанда мұнайдың шекті рұқсат етілген концентрациясы (ШРК) 100 мг/кг (Қаражанбас және Жетібай кен орындарындағы мұнай үшін) және Қаламқас кен орнындағы мұнай үшін 10 мг/кг-ға тең [3]. Доссор кен орнының жанында топырақтың мұнаймен ластануының жоғары деңгейі анықталған. Мұнда ШРК-дан асып кету 47,7–127,2 есе аралығында болғаны анықталды.

Бұдан басқа, мұнаймен ластанған телімдері Комсомольское (137 ШРК), Сағыз (107 ШРК), Таңатар (60 ШРК), Байшонас (138 ШРК), Тентексор (200 ШРК), Искене (24 ШРК), Қаратайқыз (2,4 ШРК) кен орындарының маңынан табылды.

Мұнай ластануының жоғары мөлшері, бірақ ШРК-дан төмен, Оңтүстік Қашқар және Алтыкөл кен орындарының жанында табылды. Жаршық және П-2 ауданында бұрын бұрғыланған ұңғымалардан мұнайдың шым-шымдап шығуы әсер еткендік жақын алынған сынамалар тиісінше 881 ШРК және 22,8 ШРК мұнайдың топырақтағы құрамын көрсетті.

Елді мекендер маңындағы топырағы ластануының қауіптілік дәрежесін анықтау көрсеткіштері мынадай шектерде айқындалған (3-ші кесте).

Кесте 3 - Елді мекендер топырақтарының санитариялық жай-күйінің бағалау көрсеткіштері

№ п/п	Қауіптілік дәрежесі	Ластану дәрежесі	Экзогенді химиялық заттармен ластану көрсеткіші, ШРК арту еселігі
1	Қауіпсіз	Таза	ШРК-дан аз
2	Салыстырмалы түрде қауіпсіз	Жеңіл ластанған	1 – 10
3	Қауіпті	Орташа ластанған	10 – 100
4	Өте қауіпті	Молынан ластанған	100 астам

Осы жіктеуге сәйкес Мақат, Доссор, Байшонас, Тентексор, Комсомольское кен орындарына жақын, сондай-ақ Жаршық телімде ағып жатқан барлау ұңғымасына жақын топырақты мұнаймен молынан ластанған деп жіктеуге болады, бұл ластанудың өте қауіпті дәрежесін білдіреді. Ластанудың мұндай деңгейі тұрғындардың денсаулығына қауіп төндіреді, өйткені Доссор және Мақат кен орындары аттас елді мекендерге жақын орналасқан.

Жаршық телімі Каспий теңізінің айдынды суларымен су басу аймағында орналасқан. Бұл аймақта мұнайы сыртқа шығып жатқан ұңғыманың болуы бүкіл теңіз экожүйесіне және әсіресе жағалау белдеуіне қауіп төндіреді, онда қамыс қопалары қалған, олардың тығыздығы жануарлар тіршілігі үшін өте жоғары.

Таңатар және Ескене кен орындарының маңындағы топырақ орташа, ал Қаратайқыз маңындағы топырақ сәл ғана ластанған. Қалған бақылау станцияларында топырақ таза деп сипатталады [4].

Осы мәселелерді түбегейлі зерттеп, сараптай отырып, мұнай қалдықтарын қайта өңдеу арқылы тиімді пайдалану әдістерін қарастыру қажет. Бұл, біріншіден, қоршаған ортаға техногенді әсерін азайтады, екіншіден, қалдықтарды сақтауға төленетін төлем мөлшерін

азайтады, үшіншіден, қайта өңдеуден алынған өнімді әрі карай дамытып, басқа өндіріс орындарында қолданып, пайда табуға болады.

Көп жылғы жинақталған тәжірибелердің негізінде, мұнай қалдықтарын шикізат ретінде пайдаланудың өзі тиімді екені белгілі болды. Бұл бағытта мұнай шламдары асфальтбетон, газобетон, шламобетон дайындаған кезде пайдаланылады. Мұнай шламдары бетонды сұйықтардың беріктігін ұлғайтатын, аязға, ылғалдылыққа қарсылығын жоғарылататын органикалық байланыстырғыштар ретінде де қолданылады.

Бұдан басқа мұнай шламдарын жол құрылысында пайдаланып, салынған жолдың өзіндік құнын төмендетіп, технологиялық процесті оңтайландыруға болады [5].

Сондықтан мұнай қалдықтарын қоршаған ортаға тастамай, оларды шикізат көзі ретінде пайдалану табиғатты қорғау жұмысының өзекті мәселесі болып есептеледі.

Мұнай қалдықтарын пайдаланып топырақтарды тазалау 1915 жылдардан белгілі болды. Инженер К.П.Некрасов жоғары шайырлы мұнайды пайдаланып жолдың сапасын жақсартуға болатын материал екенін атап өтті [6].

Бухара Гиждуван-Қызыл-Тепе жолын салған кезде, катынасы 3:1 болатын мұнай мен битумның коспасы пайдаланылды [8].

Өзбекстанда В.И. Ленин атындағы үлкен трассасының салу барысында алғаш рет үлкен көлемде жергілікті жоғары парафинді мұнайды гравийге араластыру арқылы жолға тосеу пайдаланылған [9, 10].

Қорытынды

1. Айта кету керек, Батыс Қазақстанда мұнай-газ кешенінің қалыптасуы топырақ жамылғысына антропогендік жүктемені едәуір күшейтті. Аймақтағы топырақ жамылғысының экологиялық бұзылуының негізгі себептері: техногендік жойылу, мұнай-химиялық ластану және ақаба сулармен тұздану, бұрғылау шламы, улы химиялық элементтер және т. б.

2. Топырақтың табиғи құнарлылығын рекультивациялау жөніндегі жұмыстарды жүргізудің кезектілігі олардың өзін-өзі сауықтыруға табиғи қабілетімен, шаруашылық маңыздылығымен және бүлінген топырақтың қоршаған аумақтарға әсер ету сипатымен айқындалуға тиіс. Қазіргі уақытта осы ауданның топырақтары төмен экономикалық құндылыққа ие және тек жайылым ретінде пайдаланылса да, жұмыс аяқталғаннан кейін экологиялық тұрғыдан оларды құнарлылықтың бастапқы деңгейіне дейін қалпына келтіру қажет.

3. Мұнай өндіруші аймақтардағы құрамында мұнай бар шламдарды қайта өңдеу, қоршаған табиғи ортаны қорғау саласындағы негізгі мәселелердің бірі болып саналады.

4. Мұнай қалдықтарын отын өндірісінде (және құрылыста) пайдаланудың басқа технологиясы, яғни құрамында қатты көмірсутегілер бар отын алу.

5. Экологиялық жағдайды сауықтыру және табиғи ресурстарды ұтымды пайдалану аймақтың маңызды мемлекеттік міндетіне айналды. Осыған байланысты топырақ жамылғысының тозу және шөлейттену ошақтарын дер кезінде анықтау және бағалау, бұзылған жерлерді оңалту мен қорғаудың ғылыми негіздерін әзірлеу өзекті мәселе екені тиянақталды.

ӘДЕБИЕТТЕР

1. Национальный доклад о состоянии окружающей среды об использовании природных ресурсов Республики Казахстан за 2020 год;
2. Позднышев Г.Н., Манырын В.Н., Калутин И.В. // 14 Пат.2172764 РФ. Способ утилизации нефтяного шлама./ Опубл.24.08.2001.
3. <https://shpora.org/referats/198786> - diplomnaia - rabota – sposoby - rekultivatsii neftezagriaznennykh – pochv – i – gruntov – s – uporom- na – podkhody - bioremediatsii.html
4. Сапаров А.С., Шимшиков Б.Е., Досбергенов С.Н., Асанбаев И.К. / «Нефтехимическое загрязнение почв территории трасс нефтепроводов в Атырауской области» / стр.60;
5. Мирзадинов Р.А., Үсен Қ., Торғаев Ә.Ә., Дүйсенбеков С.Л., КАРимов М.Ш., Меизбаев Г.Қ., Топырақтану. Оқу құралы / Алматы: Қаз ККА, 2009. 278 б;

6. Ручникова О.И., Анциферова И.В., Максимова С.В., Петров В.Ю., Экологический менеджмент: Учеб. пособие / Пермский ГТУ – Пермь, 2000. – 234 с;
7. Ручникова О.И., Вайсман Я.И. Экологическая безопасность предприятия нефтедобывающего комплекса (Система управления нефтеотходами) // Инженерная экология, №2, 2003. – 15–26 с;
8. Жапахова А.У., Разработка технологии утилизации асфальтосмолисто-парафинистых отложений месторождения Кумколь в качестве органических вяжущих веществ в дорожном покрытии;
9. Алексеев И.Г. Особенности службы ремонта и содержания автомобильных дорог в Узбекской ССР. Доклад на зональном совещаний, Изд. Гушосдора Узбекской ССР. Ташкент, 1965;

Загрязнение почв нефтью и их переработка

Г.М. Мейрам^{ib}, Сағын Р.А.^{ib}

Аннотация. В статье показана динамика нарушенных земель в 2019-2020 годах и негативное влияние нефти и ее продуктов на почву и всю систему экологии. Загрязнение почв на нефтяном руднике подразделяется на классы в соответствии с классификацией. Проанализировав сегодняшнюю ситуацию мирового опыта и на основании данных экспериментов Макджила, было показано, что в условиях климата Казахстана составлена таблица прогнозных нормативов содержания нефти в почвах, подлежащих рекультивации. Проведен анализ наиболее твердых месторождений республики по степени загрязнения.

Дана последовательность материалов, используемых в строительстве для переработки нефтяных отходов, и рассмотрено несколько вариантов использования. Во-первых, снижает техногенное воздействие на окружающую среду, во-вторых, уменьшает размер платы за хранение отходов, в-третьих, показано, что продукты переработки могут быть использованы и использованы на других производственных предприятиях.

Ключевые слова. Нефть, ПДК, почва, рекультивация, загрязнение.

Oil pollution of soils and their processing

G.M. Meiram^{ib}, Sagyn R.A.^{ib}

Abstract. The article shows the dynamics of disturbed lands in 2019-2020 and the negative impact of oil and its products on the soil and the entire ecology system. Soil pollution at an oil mine is divided into classes according to the classification. Analyzing the current situation of world experience and based on the data of McGill's experiments, it was shown that in the conditions of Kazakhstan's climate, a table of forecast standards for oil content in soils subject to reclamation was compiled. The analysis of the most solid deposits of the republic according to the degree of pollution is carried out.

The sequence of materials used in construction for processing oil waste is given, and several use cases are considered. Firstly, it reduces the anthropogenic impact on the environment, secondly, it reduces the amount of fees for waste storage, and thirdly, it is shown that the processed products can be used and used at other production enterprises.

Keywords. Oil, MPC, soil, reclamation, pollution.

АКТУАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ РЕКУЛЬТИВАЦИИ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

Г.М. Мейрам^{id}, Р.А. Сагын^{id}

Satbayev University, Республика Казахстан, г. Алматы

raha-15@mail.ru

Аннотация. В этой статье рассматриваются различные методы рекультивации для удаления нефти из почвы с упором на их текущее развитие. Было разработано множество методов рекультивации, но для устранения и сведения к минимуму опасного воздействия нефти требуется быстрый, безопасный для природы и экономичный метод. Химические, физические и термические методы, используемые для очистки почвы, имеют много недостатков, поэтому основное внимание уделяется биологическим методам. В последнее время микробы и растения используются вместе в качестве метода ризоремедиации для удаления загрязняющих веществ из почвы из-за его значительных результатов. В процессе ризоремедиации корни растений выделяют экссудаты, которые усиливают или стимулируют рост и активность микробов ризосфере. Это приводит к эффективному разложению загрязняющих веществ. Благодаря своим преимуществам это может оказаться эффективным в будущем для разложения загрязняющих веществ.

Способы рекультивации различаются по энергозатратности, технологической сложности и эффективности. Среди всех методов биологические методы имеют хороший компромисс между эффективностью и стоимостью. Они, как правило, не оказывают негативного воздействия на экосистемы.

Ключевые слова. Нефть, нефтепродукт, почва, рекультивация, восстановление, биоремедиация, удаление загрязняющих веществ.

Введение

В Казахстане значимой проблемой является загрязнение нефтью и нефтепродуктами территорий месторождений. В зависимости от подстилающих пород, почвы, растительного покрова нужно искать приемлемые методы рекультивации нефтезагрязненных земель. [1]

Для разведки, добычи, выкачивания, подготовки и последующей транспортировки нефти нужны немалые территории, где располагаются множество скважин, технологические резервуары, ЛЭП, компрессоры, очистные сооружения, пункты нефтесбора, установки для подготовки нефти к транспортировке, насосные и нефтеперекачивающие станции, трубопроводы и т.д.

В Западном Казахстане, территории которого в основном относятся к степным, полупустынным и пустынным зонам с резкоконтинентальными подгорно-климатическими условиями, экосистемы характеризуются высокой уязвимостью и низким потенциалом самовосстановления. [2]

Нефтяное загрязнение различается от многих других антропогенных воздействий из-за «залповой» нагрузки на среду, тем самым вызывая быструю ответную реакцию.

Важно отметить, что причинами нефтезагрязнения зачастую становится физический износ оборудования или его механическое повреждение. Лидирующие позиции по числу аварийных разливов нефти и нефтепродуктов занимают магистральные и внутрипромысловые продуктопроводы. Подавляющее большинство ЧП здесь связано с коррозией оборудования и некачественными строительно-монтажными работами, лишь незначительная часть — с заводским браком и ошибками эксплуатации.

В соответствии с ст. 238. Экологического Кодекса Республики Казахстан «Недропользователи при проведении операций по недропользованию, а также иные лица при выполнении строительных и других работ, связанных с нарушением земель, обязаны проводить рекультивацию нарушенных земель».

Рекультивация земель – комплекс работ, направленных на восстановление нарушенных земель для определенного целевого использования, в том числе прилегающих земельных участков, полностью или частично утративших свою ценность в результате отрицательного воздействия нарушенных земель, а также на улучшение условий окружающей среды.

При выборе направления рекультивации нарушенных земель должны быть учтены:

1. Характер нарушения поверхности земель;

2. Природные и физико-географические условия района расположения объекта;
3. Социально-экономические особенности расположения объекта с учетом перспектив развития такого района и требований по охране окружающей среды;
4. Необходимость восстановления основной площади нарушенных земель под пахотные угодья в зоне распространения черноземов и интенсивного сельского хозяйства;
5. Необходимость восстановления нарушенных земель в непосредственной близости от населенных пунктов под сады, подсобные хозяйства и зоны отдыха, включая создание водоемов в выработанном пространстве и декоративных садово-парковых комплексов, ландшафтов на отвалах вскрышных пород и отходов обогащения;
6. Выполнение на территории промышленного объекта планировочных работ, ликвидации ненужных выемок и насыпи, уборка строительного мусора и благоустройство земельного участка;
7. Овраги и промоины на используемом земельном участке, которые должны быть засыпаны или выположены;

8. Обязательное проведение озеленения территории. [3]

Процесс рекультивации нефтезагрязненных земель включает:

- Удаление нефти из состава почвы;
- Рекультивацию земель (технический и биологический этап).

До начала строительства скважины: планировка площадки под буровое оборудование.

По окончании строительства скважины производится технический этап рекультивации отведенных земель. Технический этап включает в себя следующие виды работ:

- Очистку территории от мусора и остатков материалов;
- Сбор, резку и вывоз металлолома;
- Очистку почвы от замазученного грунта и вывоз его для складирования;
- Планировку площадки.

Техника, используемая при технической рекультивации:

- Бульдозер;
- Автокран;
- Автосамосвал.

В состав биологического этапа входит заключительная часть проекта: лесное строительство, озеленение, биоочистка почв, фиторекультивационные мероприятия, восстановление процессов почвообразования и т.д.

Методы

В основном, в Казахстане, применяются термический, механический и микробиологический методы очистки нефтешлама и загрязненного грунта:

1. Механические подразумевают обваловку загрязнения, откачку нефти в емкости насосами и вакуумными сборщиками или замену почвы. Первичные мероприятия при крупных разливах при наличии соответствующей техники и резервуаров (проблема очистки почвы при просачивании нефти в грунт не решается).

2. К физическо-химическим относятся сжигание, промывка почвы, дренирование почвы, экстракция растворителями; сорбция; термическая десорбция (крекинг); химическое капсулирование.

3. Биологические: фитомелиорация; биоремедиация. [4]

Механический способ заключается в сборе нефтепродуктов или загрязненной почвы (или локализации территории) и вывозе почвы с нефтепродуктами на полигон для захоронения или естественного разложения. Подобный метод, несомненно, прост и эффективен, однако он очень длительный, трудоемкий и очень затратный. Сама транспортировка загрязненного грунта к месту захоронения является проблематичной. Поверхностно-активные вещества могут быть опасны из-за их способности прилипать к частицам почвы. Механические методы могут использоваться как первый этап проведения рекультивации, в дальнейшем оно дополняется физико-химической или биологической очисткой грунтов.

Из существующих физико-химических способов выделяется метод поверхностной очистки от нефтяных загрязнений с помощью сорбентов. Данный подход считается перспективным, простым в осуществлении, экологически безопасным и позволяет легко утилизировать собранные нефтепродукты.

Сорбенты делятся на адсорбенты и абсорбенты. Адсорбенты – материалы, для которых характерен процесс поглощения путем физической поверхностной адсорбции. Абсорбенты – материалы, для которых характерен диффузионный процесс поглощения всем своим объемом. И здесь следует заметить, что большинство представленных на рынке сорбентов – адсорбенты.

Сорбенты можно классифицировать на: неорганические, на основе торфа и сапропеля, на основе сырья животного и растительного происхождения, целлюлозосодержащие, синтетические, биосорбенты.

По эффективности сорбенты можно разделить на 3 критерии: нефтеемкость, влагоемкость и плавучесть. По поглотительной способности сорбенты различаются значительно. Также принято руководствоваться технико-экономическими критериями выбора: соотношение поглотительная способность/ цена. Применяемый сорбент, прежде всего, должен максимально решать экологические проблемы, а в идеале, оптимизировать затраты на ликвидацию последствий разливов. [5]

На сегодняшний день биотехнологический подход является самым эффективным методом, как в экономическом, так и в экологическом плане. Способ основан на использовании различных групп микроорганизмов, отличающихся повышенной способностью к биodeградации компонентов нефти и нефтепродуктов.

Биоремедиация — это традиционный метод, который предполагает использование живых организмов (бактерий, грибов и растений) для разложения вредных веществ, присутствующих в окружающей среде.

Биоремедиация сырой нефти из почвы является очень эффективным, дешевым и экологически безопасным решением. Эффективность этого метода зависит от концентрации углеводородов, характеристик почвы и состава загрязняющих веществ. Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) являются наиболее устойчивой и токсичной группой почвенных загрязнителей, присутствующих в сырой нефти. ПАУ попадают в поры почвы после того, как они попадают в почву и удерживаются почвенной матрицей. Поэтому их удаление из почвы очень затруднено. Биоремедиация является наиболее подходящим методом удаления ПАУ из почвы, поскольку микробы и корни растений могут легко получить доступ к этим крошечным порам.

Было замечено, что эффективность установок по переработке сырой нефти повышается в присутствии почвенных микроорганизмов. Растения образуют синергетические отношения с почвенными микроорганизмами, в которых они обеспечивают микробам пространство и благоприятную среду в области ризосферы, а микробы, в свою очередь, разлагают загрязнители, используя свою ферментную систему. Эти симбиотические отношения известны как ризоремедиация, которая представляет собой комбинацию биоремедиации и фиторемедиации. В последнее время ризоремедиация является наиболее успешной и рентабельной стратегией разложения всех типов загрязняющих веществ, присутствующих в сырой нефти. Когда деградация загрязняющих веществ происходит под действием микроорганизмов, которые живут в корнях растений, метод восстановления называется ризоремедиацией. Этот процесс происходит естественным образом, а также его можно стимулировать введением соответствующих микробов.

Для ризоремедиации необходимы такие растения, которые могут расти в почве, загрязненной нефтью, а также обеспечивать благоприятную среду для загрязняющих веществ, разлагающих микробы путем выделения экссудатов или аэрации. Растительно-микробная система не только увеличивает метаболическую активность ризосферных микробов, но также улучшает физические и химические свойства почвы и увеличивает доступ микробов к загрязняющим веществам, присутствующим в почве.

Бактерии, стимулирующие рост растений, способствуют устойчивости растений к загрязняющим веществам, присутствующим в почве. К примеру, плевел или райграс многолетний при выращивании с бактериями, стимулирующие рост растений, показал повышенную деградацию углеводов до 61,5% в течение 3 лет. Было замечено, что низкая концентрация усиливает деградацию и наоборот. Нефть после утечки захватывается или физически связывается с частицами почвы. Доступ к этим микропространствам возможен благодаря корням растений. Корни растений содержат микробы как в ризосфере, так и на поверхности. Таким образом, корень создает путь для этих микробов, чтобы получить доступ к этим загрязнителям.

Совместное использование растений и микробов действительно является хорошей стратегией восстановления загрязненной почвы. Это может быть долгий процесс, но он безопаснее и экологичнее. Для разработки хороших моделей необходимо провести дальнейшие полевые эксперименты. [6]

Заключение

Утечка нефти при добыче и транспортировке представляет опасность для окружающей среды, так как содержит мутагенные и канцерогенные соединения. Загрязнение почвы из-за утечки нефти оказывает неблагоприятное воздействие миру животных и растений, поэтому его удаление крайне необходимо. Было разработано множество методов удаления нефти из почвы, т. е. физические, химические, термические и биологические. В физико-химические и термические методы было внесено множество изменений и усовершенствований, направленных на повышение их эффективности и уменьшение их недостатков. Тем не менее, эти методы имеют много недостатков и менее приемлемы для нефтяных месторождений Казахстана. С другой стороны, методы биоремедиации предпочтительнее, потому что они эффективны, дешевле и безопасны для природы. В новейшей технологии, то есть в ризоремедиации, микробы и растения объединяются вместе в синергетических отношениях для эффективного удаления загрязняющих веществ нефти из почвы. Исследования показали, что ризоремедиация более эффективна, чем методы микробной и фиторемедиации по отдельности.

С развитием биотехнологии можно усилить разложение загрязнителей нефти. Однако, при использовании этих методов следует соблюдать осторожность из-за возможности дрейфа генов, или генетико-автоматических процессов в природу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Унаева-Н.М. Рекультивация нефтезагрязненных земель месторождения Западного Казахстана // High-level research 2020/2021, [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://eee-science.ru/item-work/2021-2624/>
2. Курбанова Л.С., Канабекова А.М., Қылыш Д.Е. Обзор методов восстановления нефтезагрязненных почв // Вестник КазГАСА. – 2015. - № 1(55) – С.173-180.
3. Экологический кодекс Республики Казахстан от 2 января 2021 года № 400-VI ЗРК. Статья 238. Экологические требования при использовании земель.
4. С.С. Абдыгалиева, Е.Е. Стамбекова. Рекультивация земель – один из методов решения экологических проблем // Материалы международной научно-практической конференции: “Современные проблемы географической науки”. г. Алматы – 2014.- С.306-309.
5. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://terra-ecology.ru/likvidacija-razlivov-nefti-biorazlag/>
6. Ding Xuezhi. Remediation Methods of Crude Oil Contaminated Soil /Anum Ali Ahmad, Ishaq Muhammad, Tariq Shah, Qudratullah Kalwar, Jianbo Zhang, Zeyi Liang, Du Mei, Zheng Juanshan, Ping Yan, Ding Xue Zhi and Long Rui-Jun // ISSN: 2641-6379 World Journal of Agriculture and Soil Science – 2020. - Volume 4 - Issue 4.

Мұнаймен ластанған жерлерді қалпына келтірудің өзекті әдістері

Г.М. Мейрам^{ib}, Р.А. Сағын^{ib}

Андатпа. Мақалада қазіргі дамуына баса назар аударатын, мұнайды топырақтан тазарту үшін қалпына келтірудің әртүрлі әдістері қарастырылған. Қалпына келтірудің көптеген әдістері жасалды, бірақ мұнайдың қауіпті әсерін жою және азайту үшін тез, табиғатқа қауіпсіз және үнемді әдіс қажет. Топырақты тазарту үшін қолданылатын химиялық, физикалық және жылу әдістерінің көптеген кемшіліктері бар, сондықтан биологиялық әдістерге баса назар аударылады. Жақында микробтар мен өсімдіктер айтарлықтай нәтижеге байланысты топырақтан ластаушы заттарды кетіру үшін ризоремедиация әдісі ретінде қолданылады. Ризоремедиация процесінде өсімдік тамырлары ризосфера микробтарының өсуі мен белсенділігін арттыратын немесе ынталандыратын экссудаттарды шығарады. Бұл ластаушы заттардың тиімді ыдырауына әкеледі. Оның артықшылықтарының арқасында болашақта ластаушы заттардың ыдырауы үшін тиімді болуы мүмкін.

Қалпына келтіру әдістері энергия шығыны, технологиялық күрделілігі және тиімділігі бойынша ерекшеленеді. Барлық әдістердің ішінде биологиялық әдістер тиімділік пен шығындар арасында жақсы ымыраға ие. Олар, әдетте, экожүйелерге теріс әсер етпейді.

Негізгі сөздер. Мұнай, мұнай өнімдері, топырақ, қалпына келтіру, қалпына келтіру, биоремедиация, ластаушы заттарды жою.

Current reclamation methods of oil-polluted lands

G.M. Meiram^{ib}, R.A. Sagyn^{ib}

Abstract. This article discusses various reclamation methods for removing oil from the soil with an emphasis on their current development. Many methods of reclamation have been developed, but to remove and minimize the dangerous effects of oil, a fast, safe for nature and economical method is required. Chemical, physical and thermal methods used to clean the soil have many drawbacks, so the focus is on biological methods. Recently, microbes and plants have been used together as a rhizoremediation method to remove pollutants from the soil due to its significant results. In the process of rhizoremediation, plant roots produce exudates that increase or stimulate the growth and activity of rhizosphere microbes. This leads to effective decomposition of pollutants. Thanks to its advantages, it can be effective for the decomposition of pollutants in the future.

Methods of reclamation differ in energy consumption, technological complexity and efficiency. Among all methods, biological methods have a good compromise between efficiency and cost. As a rule, they do not have a negative impact on ecosystems.

Keywords. Oil, petroleum products, soil, reclamation, recovering, bioremediation, removal of contaminants.

СОДЕРЖАНИЕ

НАПРАВЛЕНИЕ: «ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ГЕОПРОСТРАНСТВЕННОЙ ИНЖЕНЕРИИ И ГОРНОМ ДЕЛЕ»

Искаков Е.Е., Сайлау Ә.М.

МЕТОДИЧЕСКАЯ ОСНОВА ОБОСНОВАНИЯ РАСЧЕТНЫХ ПРОЧНОСТНЫХ
СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД ДЛЯ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ БОРТОВ КАРЬЕРОВ..... 3

Құттыбаев А.Е., Қуантай А.С.

СПОСОБЫ ЗАПОЛНЕНИЯ КАРЬЕРНОГО ПРОСТРАНСТВА..... 7

Шакенов А.

ОПТИМАЛЬНЫЕ УКЛОНЫ ТРАСС ШАХТЫ..... 11

Ахметканов Д.К., Карбозов О.

ВЫБОР ВАРИАНТОВ КОМБИНИРОВАННОЙ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ С
УЧЕТОМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ..... 16

Ләнде М.А.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫРОЖДЕННОСТИ ПРОДУКТИВНОГО РАСТВОРА
ПРИ ПСВ УРАНА..... 20

Ләнде М.А.

РАЗРАБОТКА ГИДРОГЕННО-ИНФИЛЬТРАЦИОННЫХ УРАНОВЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ С ЯРУСНЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ РУДНЫХ ТЕЛ..... 28

Мейрам Г.М., Сағын Р.А.

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВ НЕФТЮЮ И ИХ ПЕРЕРАБОТКА..... 35

Мейрам Г.М., Сағын Р.А.

АКТУАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ РЕКУЛЬТИВАЦИИ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ..... 40

Ахметканов Д.К., Сарсенбеков М.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ УРАНОВЫХ РУД НА
ОСНОВЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ..... 45

Сериков Ж.М., Молдабаев С.К.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СОРТОВОГО ПЛАНИРОВАНИЯ В ГРАНИЦАХ
ВЫЕМОЧНОЙ ЕДИНИЦЫ РУДНИКА «АТАНСОР»..... 49

Ахметканов Д.К., Темірхан Н.

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ
РАЗРАБОТКИ ПРИ РАЗВИТИИ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА..... 53

Юсупов Ж.М., Искаков Е.Е.

ЗОЛОТОРУДНОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ «АКБАКАЙ»..... 57

Игизбаев Р.К., Игизбаев М.К., Магер А.Н.

РАЗРАБОТКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ОТКРЫТЫМ СПОСОБОМ, В ТОМ ЧИСЛЕ
ГЛУБОКИМИ КАРЬЕРАМИ, НА ОСНОВЕ СПОСОБОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И
ПРЕВЕНЦИИ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ КАТАСТРОФ, С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ
РЕНТАБЕЛЬНОСТИ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ..... 63

Романов С.А.

ЗОЛОТОЕ ОРУДЕНЕНИЕ УЧАСТКЕ ГАЛАБУЛАК. (КЫЗЫЛТУРУКСКОГО
РУДНОГО ПОЛЯ)..... 71

Мусин А.А., Аманжолов М.Т.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗУБОЖИВАНИЕ РУДЫ ПРИ ОТРАБОТКЕ МАЛОМОЩНЫХ ЖИЛ..... 75

Кулбаева Ж.К.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОДООТДАЧИ С ПОМОЩЬЮ ТРУБЧАТОГО ДРЕНАЖА И
ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СКВАЖИН НА ШАХТЕ «СОКОЛОВСКАЯ»..... 79

Нурпеисова М.Б., Рысбеков К.Б.

ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ - ОДНО ИЗ КЛЮЧЕВЫХ НАПРАВЛЕНИЙ
РАЗВИТИЯ «ЗЕЛЕННОЙ» ЭКОНОМИКИ КАЗАХСТАНА..... 83

Имансакипова Б.Б., Орынбасарова Э.О., Сдвижкова О.О., Айтказинова Ш.К.,

Шоганбекова Д.А.

НОВЫЙ ПОДХОД К ПОВЫШЕНИЮ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ
ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ МЕТОДАМИ КОСМИЧЕСКОЙ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ
ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ 88