

**Ж. Ш. ЖАНТАЕВ, А. Ж. БИБОСИНОВ, А. Г. ФРЕМД, А. В. ИВАНЧУКОВА**

## **НАЗЕМНО-КОСМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПРИКАСПИЙСКОГО РЕГИОНА И СОПРЕДЕЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЙ**

ДТОО «Институт Ионосферы» АО «НЦКИТ», г. Алматы

*Приведены основные результаты работ по Прикаспийскому региону, полученные методами наземных наблюдений, дистанционного зондирования Земли и механико-математического моделирования.*

Каспийский регион, в котором сосредоточены крупнейшие запасы углеводородного сырья, является сегодня крайне привлекательным инвестиционным объектом экономик всех стран этого региона, а также других государств. Однако успешное развитие региона немыслимо без решения ряда важнейших вопросов, связанных с обеспечением экологического равновесия окружающей среды и техногенной безопасности производств, в частности, объектов добычи углеводородного сырья. Все эти проблемы обусловлены как естественными геодинамическими процессами, протекающими в литосфере, так и искусственными, – следствием интенсивного техногенного вмешательства, темпы которого неуклонно возрастают.

Естественные процессы обусловлены особенностями геологического строения и той геодинамической позицией, которую занимает регион в системе плит. Особенности этой позиции проявляются:

- в современных движениях регионального порядка, обусловленных уникальным расположением региона с позиций тектоники плит;
- в наличии диапировых структур и мощных повсеместно развитых соленосных толщ, которые отличаются сравнительно высокой скоростью динамических процессов, обусловленных, как тектоническими особенностями, так и пластичностью;
- в наличии крупных блоковых структур и систем разделяющих их активных региональных глубинных разломов (линеаментов), а также молодых разрывных нарушений более низкого порядка;
- в наличии азимутального и углового несогласия в залегании осадочной толщи Каспийского моря и более древних пород кристаллического фундамента.

Отмеченные особенности свидетельствуют о незавершённости процесса становления всего Арабо-Каспийского прогиба и напряжённом состоянии его недр, что подтверждается изостатической неуравновешенностью региона, сейсмичностью, активностью современных движений, гидротермальной деятельностью, грязевым вулканизмом и наличием аномально высоких пластовых давлений во флюидодинамических системах.

Искусственные процессы обусловлены техногенным наложенным воздействием на геодинамику недр земной коры. Они выражаются в создании емкостей в соляных куполах с помощью подземных ядерных взрывов, проведенных в период с 1966 по 1987 гг. и многолетних работах по поиску и разработке месторождений нефти и газа, которые проводились здесь, начиная с 1847 года. Но если на первом этапе до 1959 года включительно шла разгерметизация слабонапорных флюидодинамических систем с глубинами проникновения до 3-х км, то с 1960 года началась разгерметизация высоконапорных горизонтов с аномально высоким пластовым давлением. Такие мощные комплексные воздействия вызвали разгерметизацию зон аномально высоких пластовых давлений с проявлениями как точечного, так отчасти и площадного характера. В результате возросла сейсмическая активность в западной части прогиба, повысился уровень подземных вод в верхних горизонтах, отмеченный в районе Астрахани, а в районе Апшерона (в самом старом районе нефтедобычи) зародилась волна деформаций, распространявшаяся из области альпийской складчатости на северо-восток со скоростью 50-60 км/год. Прохождение этой волны сопровождалось резким падением нефтедобычи по всему региону. С ней же связывается резкое повышение разгрузки подземных вод в Каспий с обширных пространств в объеме от 40 до 60 км<sup>3</sup>/год и повышение уровня моря. В 1979 году скорость повышения уровня моря была зафиксирована на

отметке 30–32 см/год. Начиная с 1980 года, отмечен новый всплеск сейсмической активности, охвативший, помимо западных, слабосейсмичные в прошлом территории.

В этой связи важно отметить и собственно провокационный характер процесса разработки месторождений углеводородов, который вызывает нарушение сложившегося геодинамического равновесия и может способствовать возникновению просадок земной поверхности либо играть роль «спускового крючка» высвобождения латентных напряжений. В качестве примера можно привести известные Газлийские землетрясения 1976 г. ( $M = 7$ ) и 1984 г. ( $M = 7,3$ ) интенсивностью 9–10 баллов, когда продолжительные интенсивные локальные воздействия, связанные с разработкой месторождения, привели к нарушению геостатического равновесия земной коры в пределах Газлийского поднятия. В данном случае, видимо, не было принято во внимание, что район Газли относится к 8-балльной Альпийской складчатой зоне, так как ранее здесь сильных землетрясений не происходило. В зонах с развитым промышленным потенциалом, к которым относится Каспийский регион, такие явления могут привести к крайне тяжелым экономическим и экологическим последствиям на уровне национальной катастрофы [1].

Приведенные факты и свидетельства дают основание к принятию неотложных мер, направленных на исследование и контроль над развитием деформационных процессов с целью выработки превентивных мер и рекомендаций по упреждению или смягчению последствий возможных техногенных катастроф.

Учитывая, что до настоящего времени на территории Прикаспийского региона нет единой системы мониторинга, представляется совершенно необходимым её создание на базе современных космических и наземных методов исследования земной поверхности.

Современные методы контроля техногенных проявлений сейсмичности являются комплексными и в первую очередь включают в себя:

1. Наземные наблюдения:
  - мониторинговые наблюдения с использованием GPS-станций;
  - сейсмологические наблюдения.
2. Методы дистанционного зондирования Земли:
  - мониторинг с использованием данных спутниковой радарной съемки как отдельных промышленных объектов, так и сегментов территорий;
  - тематическое дешифрирование космических снимков с целью выявление и изучения основных геологических структур.
3. Механико-математическое моделирование:
  - моделирование напряженно-деформированного состояния недр;
  - разработка технологических основ моделирования по геофизическим данным.

Ниже приводятся некоторые результаты исследований, направленных на выявление деформационных процессов на различных объектах территории Прикаспийского региона.

Мониторинговые наблюдения с использованием GPS-станций вне зависимости от целей и решаемых задач сети GPS в идеальном случае должны строиться в последовательности: РЕКОГНОЦИРОВОЧНАЯ → РЕГИОНАЛЬНАЯ → ЛОКАЛЬНАЯ (ЗОНАЛЬНАЯ) → ДЕТАЛЬНАЯ. Размеры и структура сетей определяются задачами исследований – масштабами тех геодинамических процессов, которые предполагается выделять и контролировать. Предлагаемая последовательность формирования сети обусловлена необходимостью разделения деформационных полей на типы, соответствующие масштабам деформационных процессов. Для решения этой задачи был разработан формализованный подход к построению опорной сети мониторинговых GPS наблюдений, основанный на анализе геолого-геофизических полей.

В 2010 году были выполнены параметрические GPS-измерения на территории Прикаспийского региона. За период наблюдений в 29 дней был получен массив данных, по которому были построены временные ряды, карты звездного неба, графики ионосферных и зенитных задержек. По проведенной оценке приема и прохождения сигнала пункт имел значительные помехи с западной, восточной и северной стороны, а также фоновые колебания в атмосферной задержке с 5 утра. Полученные результаты показали, что для развития сети GPS-наблюдений необходимо при закреплении пункта проводить параметрические наблюдения с целью выбора оптимальных условий, обеспечивающих наибольший уровень помехозащищенности.

Начиная с 2010 года, в рамках сотрудничества с Институтом Океанологии РАН, проводится мониторинг проявлений сейсмичности как на региональном, так и на локальном уровне.

На данном этапе для регистрации сейсмических событий используется площадная расстановка из трех станций, расположенных в виде треугольника со сторонами порядка 20 км. На рис. 1 показано положение очагов микроземлетрясений, обнаруженных в районе Южного Мангышлака. Из рис. 1 видно, что эпицентр микроземлетрясения, произошедшего 12 октября 2010 года с магнитудой 1.7, приурочен к Узенскому месторождению, а эпицентры ноябрьских землетрясений расположены в районе месторождения Алатобе. Таким образом, можно допустить, что все три землетрясения имеют техногенную природу, связанную с интенсивной откачкой нефти из недр Мангышлакского полуострова.

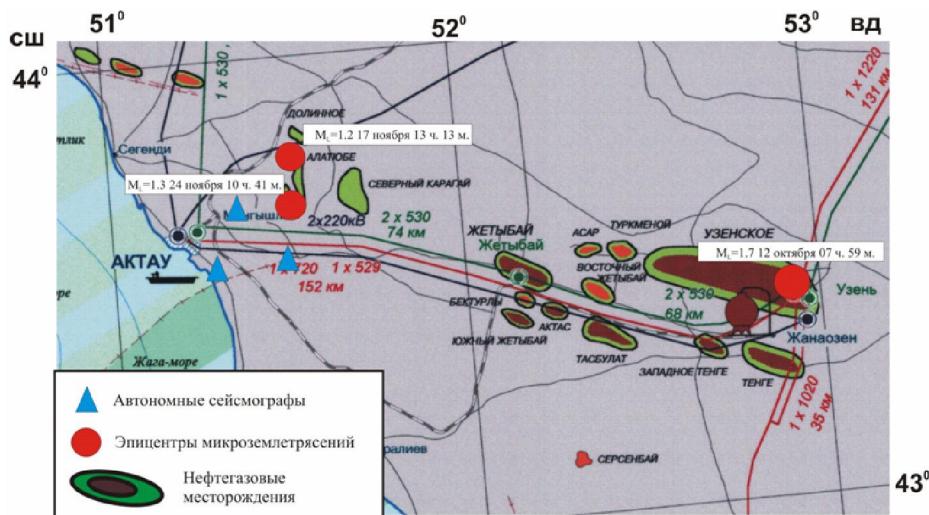


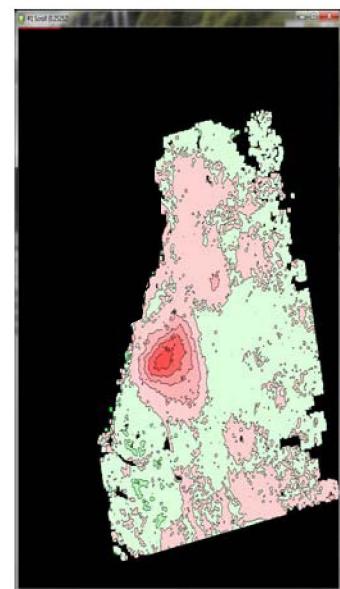
Рис. 1. Положение эпицентров микроземлетрясений в районе Южного Мангышлака по результатам сейсмологического мониторинга в октябре–декабре 2010 г.

Установленные в исследуемом районе эпицентры микроземлетрясений и их приуроченность к нефтегазовым месторождениям, на которых в течение нескольких десятков лет ведется добыча углеводородного сырья, указывает на необходимость организации здесь сети постоянно действующих сейсмических станций, включая донные сейсмографы, для мониторинга развития сейсмического процесса.

Применение радарной интерферометрии успешно применяется за рубежом для мониторинга деформаций земной поверхности уже более 20 лет. В 2011 году были получены результаты обработки радарных снимков, полученных с европейского спутника ENVISAT (2004–2009 гг.) и японского спутника ALOS (2007–2010 гг.) над территорией, включающей месторождение Тенгиз. По данным дешифрирования была выявлена мульда оседаний, имеющая приблизительно равные уклоны на северо-восточном и юго-западном направлениях. При этом северо-западный ее склон более крутой, чем юго-восточный. Непосредственно береговой линии к 2009 году мульда оседаний земной поверхности не достигла. Однако тенденция развития процесса проседания дает основание предполагать, что в дальнейшем возможно развитие западной границы мульды по направлению к береговой линии, что и было подтверждено дешифрированием данных спутника ALOS (рис. 2).

Основное отличие результатов мониторинга смещений в 2004–2009 гг. по данным ENVISAT (20 мм в год) от результатов мониторинга смещений за 2007–2010 годы по данным ALOS (30 мм в год) – это ярко выраженное наличие ускорения смещений за период с 2007 по 2010 годы (за период 2004–2009 годы оседания происходили без ускорения).

При тематическом дешифрировании космических снимков Южного Мангышлака в окрестности г. Актау использовался космоснимок со спутника LandSat, осредненный до разрешающей способности порядка 100 метров, что дает характерный размер по простирианию малого автоматически выделяемого линеамента 1–3 км. Для исследования применялось автоматизированное дешифрирование с использованием программы LESSA.

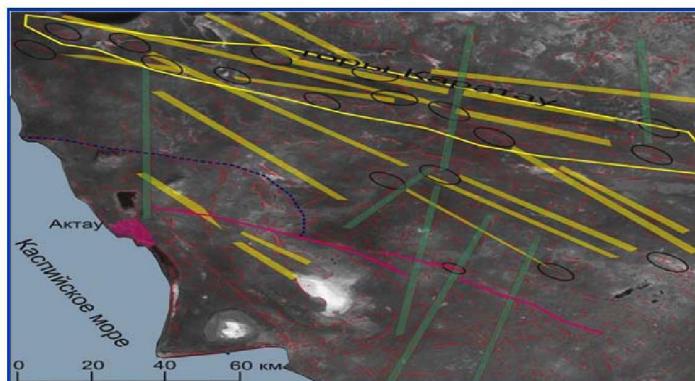


**Рис. 2.** Результатирующая модель вертикальных смещений земной поверхности над месторождением Тенгиз за период с 2007 по 2010 годы в цветовом кодировании.

Зеленый цвет – поднятия, красный цвет – оседания.

Изолинии смещений подписаны в миллиметрах  
(«+» – поднятие, «–» – оседания)

В целом неотектоника исследуемой территории определяется преобладанием развития молодых складчатых гор (Каратау), растущих складок в начальной стадии развития, взбросов и сдвигов в условиях сжатия с умеренной интенсивностью смещений. Разломные зоны нечеткие и представлены недостаточно широкими до 2–5 км зонами сгущения малых разрывов и трещиноватости без ярко выраженных линий сместителя, что говорит о начальном этапе перехода от складчатых деформаций и флексур к собственно разрывным нарушениям (рис. 3).



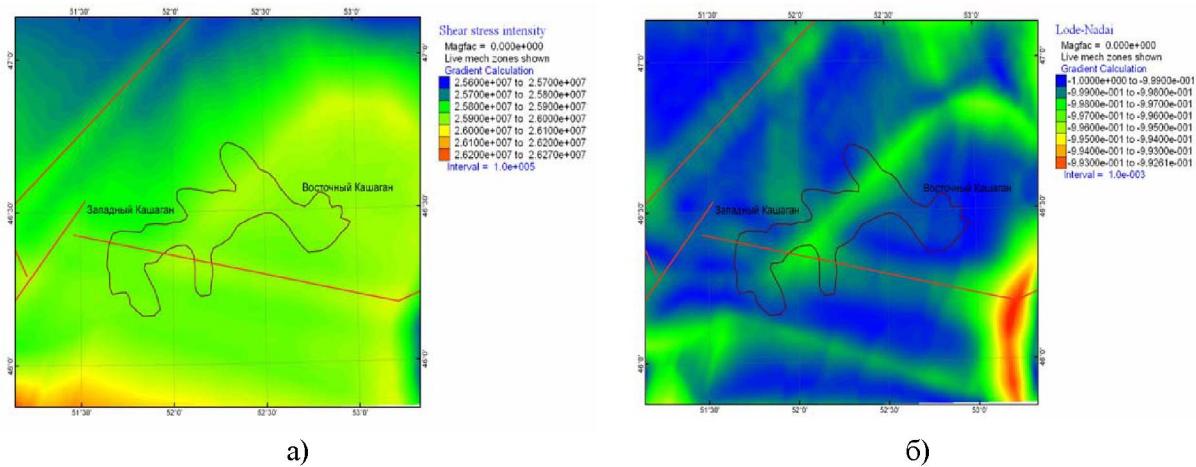
**Рис. 3.** Результаты интерпретации автоматизированного дешифрирования

Ближайшие к месту расположения объекта разломные зоны представляют собой периферийные фрагменты Бухарского разлома, простирающегося от Тянь-Шаня вдоль долины Аму-Дарьи и далее на запад-северо-запад до Каспийского моря с характерной длиной 30–60 км.

Для построения детальной блоковой модели региона необходимо использование космических и аэрофотоснимков с высоким разрешением и топографических карт. Это позволит выявить структуры с характерными размерами 3–6 и 10–30 км.

Распределением параметров НДС в земной коре во многом определяются геомеханические свойства геологической среды, которое в свою очередь зависит от величины приложенных внешних сил, координат точки и положения площадки, в которую направленно действует вектор напряжения.

Расчеты, выполненные для участка месторождения Караган, наглядно показали распределение значений интенсивности касательных напряжений (рис. 4, а), характеризующих удельную потенциальную энергию, накопленную в процессе деформирования среды. Распределение значений параметра Лоде-Надаи, отражает вид преобладающих сейсмотектонических деформаций (рис. 4, б)



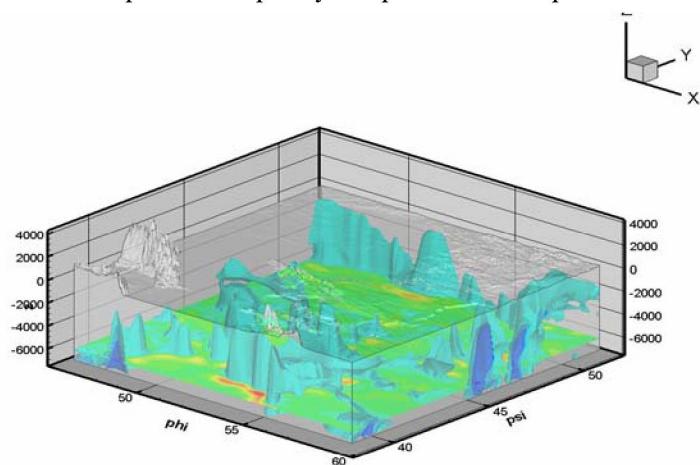
**Рис. 4.** Интенсивность касательных напряжений, в Па, (а)  
и распределение значений параметра Лоде-Надаи (б) на глубине 4–5 км

и позволяет выделить области (зоны), в которых преобладают напряжения сдвигового направления (наименьшие значения параметра). Сопоставление выделенных зон с распределением значений плотности указывает на их соответствие наибольшим градиентам рассматриваемого параметра, что также свидетельствует о наличии в этих зонах повышенных значений потенциальной энергии. Из рис. 4, б можно сделать вывод, что в зонах разломов за счет больших значений касательных напряжений могут происходить сдвиги.

Таким образом, по данным распределения параметров НДС установлено, что области в окрестностях разломов более разуплотнены и подвержены значительным вертикальным напряжениям. А данные распределения параметра Лоде-Надаи свидетельствуют о существовании в них относительно высоких сдвиговых касательных напряжений. И, следовательно, при расчетах распределений параметров НДС в земной коре необходимо учитывать ее разломно-блоковую делимость.

На основе обработки и интерпретации картографической базы сейсмической информации были получены данные по распределению зон разуплотнения в земной коре региона с целью выявления основных сейсмогенерирующих структур и нефтеперспективных территорий. Полученные результаты свидетельствуют о хорошей сходимости в местоположении ряда известных нефтегазовых месторождений региона и локализации зон разуплотнения. Кроме того, предложенное трёхмерное представление ослабленных зон свидетельствует о латеральной миграции углеводородов и возможном существовании подводящих каналов. Полученные результаты совместно с данными других методов заслуживают внимания при проведении предварительной оценки нефтеперспективности территорий.

Трёхмерное распределение аномальных значений скорости сейсмических волн (рис. 5) дает основание предполагать, что зоны разуплотнения, выделенные по экспериментальным данным, объективно отражают картину направленности флюидных потоков и аккумуляции углеводородов.



**Рис. 5.** Распределение  
скоростных неоднородностей  
в земной коре Каспийского региона  
в слое мощностью 6 км

Выявленные закономерности в распределении зон разуплотнения в комплексе с другими геофизическими данными могут служить дополнительным критерием при оценке нефтеперспективности территории и проведении поисковых геологоразведочных работ в Каспийском регионе.

Настоящими работами создана фактологическая основа к постановке и проведению экспериментальных исследований в Прикаспийском регионе и Прикаспийской впадине, в частности, направленных на выявление нефтеперспективных территорий в комплексе с данными других геофизических методов.

Приведенные фрагменты результатов исследований показывают, что организация наземно-космических и геофизических мониторинговых наблюдений с использованием инновационных технологий позволит повысить уровень эффективности и оперативности отслеживания динамики развития деформационных процессов на данных территориях. Получаемая информация может быть целенаправленно использована для выработки рекомендаций с целью предотвращения геоэкологических катастроф и снижения возможного экономического ущерба.

Работа выполнена по республиканской бюджетной программе 002 «Прикладные научные исследования в области космической деятельности». (Шифр О.057) в рамках темы «Разработать технологии наземно-космических мониторинговых наблюдений за развитием геодинамических процессов на территории Прикаспийского региона и прогнозирования месторождений углеводородного сырья».

#### ЛИТЕРАТУРА

1. <http://www.ecosistema.ru>

Ж. Ш. Жантайев, А. Ж. Бибосынов, А. Г. Фремд, А. В. Иванчукова

#### КАСПИЙМАНЫ АЙМАҒЫ МЕН ОҒАН ШЕКТЕС АУМАҚТЫҢ ЖЕРҮСТИ-ФАРЫШТАҚ МОНИТОРИНГІ

Каспийманы аймағы бойынша жер үсті ғарыштық бақылау, геодинамикалық, геофизикалық бөлімнің Жерді ара-қашықтықтан зондылау, математикалық-механикалық модельдеу және жер үсті бақылау әдістері арқылы алынған негізгі мәліметтер баяндалады.

Zh. Sh. Zhantayev, A. Zh. Bibosinov, A. G. Fremd, A. V. Ivanchukova

#### GROUND-SPACE MONITORING CASPIAN REGION AND ADJACENT TERRITORIES

The article highlights the main results of ground-space of the geodynamic and geophysical monitoring in the Caspian region, obtained by ground-based observations, remote sensing and mechanical-mathematical modeling.