

МОНИТОРИНГ СМЕЩЕНИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА РАЗРАБАТЫВАЕМЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ УГЛЕВОДОРОДОВ С ПОМОЩЬЮ КОМПЛЕКСА КОСМИЧЕСКИХ И ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

Ю. Б. Баранов, начальник лаборатории космической информации для целей газовой промышленности, проф., д-р геол.-минерал. наук

ООО «ВНИИГАЗ»

Ю. И. Кантемиров, научный сотрудник лаборатории космической информации для целей газовой промышленности

ООО «ВНИИГАЗ»

Е. В. Киселевский, начальник отдела маркшейдерско-геодезического и информационного обеспечения недропользования, канд. техн. наук

ОАО «Газпром»

С. Э. Никифоров, доцент, канд. техн. наук

МГГУ

С. А. Вергелес, главный маркшейдер

ООО «Газпром добыча Ямбург»

В. В. Билянский, главный маркшейдер

ООО «Газпром добыча Уренгой»

В настоящее время существуют две точки зрения по вопросу наличия техногенных деформаций земной поверхности при разработке месторождений углеводородного сырья. Первая – при разработке газовых месторождений возникают обширные по площади просадки земной поверхности. Вторая – добываемые нефть и газ в порах пород-коллекторов замещаются несжимаемой жидкостью – водой, и поэтому никаких существенных техногенных оседаний земной поверхности вообще нет. В то же время район севера Западно-Сибирской мегапровинции характеризуется наличием многочисленных природных процессов, вызывающих положительные и отрицательные смещения земной поверхности. Здесь следует в первую очередь отметить геокриологические (мерзлотное сезонное пучение грунтов, солифлюкционные и криогенные оползни, термокарстовые процессы и т. д.), а также геодинамические процессы и лунный цикл приливов и отливов. Поскольку и природные, и техногенные смещения земной поверхности в районе промысловой, транспортной и жилой инфраструктуры представляют собой потенциально опасный процесс, сегодня предусматривается организация постоянных наблюдений за состоянием горных отводов в виде системы закрепленных реперов в пределах контура всего месторождения с примыканием к опорным пунктам, вынесенным за область влияния деформационных процессов и с использованием традиционных методов повторных инструментальных измерений.

Проведение такого рода работ, как показал опыт ООО «Газпром добыча Уренгой», потребовало создания геодинамического полигона с протяженностью ходов нивелирования около 1400 км. Эти работы характеризуются значительными финансовыми затратами уже на стадии закрепления реперных точек, поскольку расстояние между ними жестко задано, заменить их полностью за счет использования устьев скважин невозможно, поскольку расстояние между реперными точками регламентировано в 300–500 м, в зонах предполагаемых тектонических

нарушений – 100 м, а сама закладка реперов в условиях, например, Крайнего Севера нередко требует их забуривания на 15-метровую глубину. Крайне дороги и высокоточные традиционные геодезические измерения. Кроме того, они требуют значительных затрат и характеризуются, как правило, длительными временными промежутками между повторными измерениями.

За рубежом для решения задач контроля деформаций земной поверхности и массива горных пород, перекрывающего нефтегазоносные пласты разрабатываемых месторож-

дений, начали применять новые технологии, основанные на создании системы весьма ограниченного количества корректурных (контрольных) пунктов GPS, размещенных равномерно на территории месторождений и интегрированных в Систему постоянно действующих международных пунктов GPS. Это позволяет с точностью порядка 5 мм получать все три координаты соответствующих пунктов в режиме реального времени.

ООО «ВНИИГАЗ» считает необходимым одновременно с точечными GPS-наблюдениями вести в мониторинговом режиме космическую ра-

диолокационную интерферометрическую съемку территорий месторождений углеводородов, позволяющую регулярно получать поле смещений земной поверхности с высокой точностью. Параллельно (раз в несколько лет) наблюдения за деформационными процессами проводятся традиционными геодезическими методами. Сопоставительный анализ результатов этих трех независимых методов наблюдений за смещениями земной поверхности (повторное нивелирование, GPS-наблюдения и космическая дифференциальная радиолокационная интерферометрия) позволяет осуществлять взаимоконтроль и уточнение фиксируемых смещений.

Внедрение подобной системы мониторинга начато на месторождениях нефти и газа ОАО «Газпром». В первую очередь для получения объективных и достоверных результатов по определению деформаций земной поверхности создана система наблюдений на основе постоянно действующих GPS-пунктов. Пример такой системы, созданной в Ямало-Ненецком автономном округе, приведен на рис. 1. Основной GPS-пункт расположен на здании ООО «Газпром добыча Уренгой». Этот пункт в непрерывном режиме, начиная с 2004 г., определяет текущие координаты относительно мировых мониторинговых GPS-пунктов, а от него периодически определяются координаты пунктов, установленных на зданиях и сооружениях, расположенных на территории

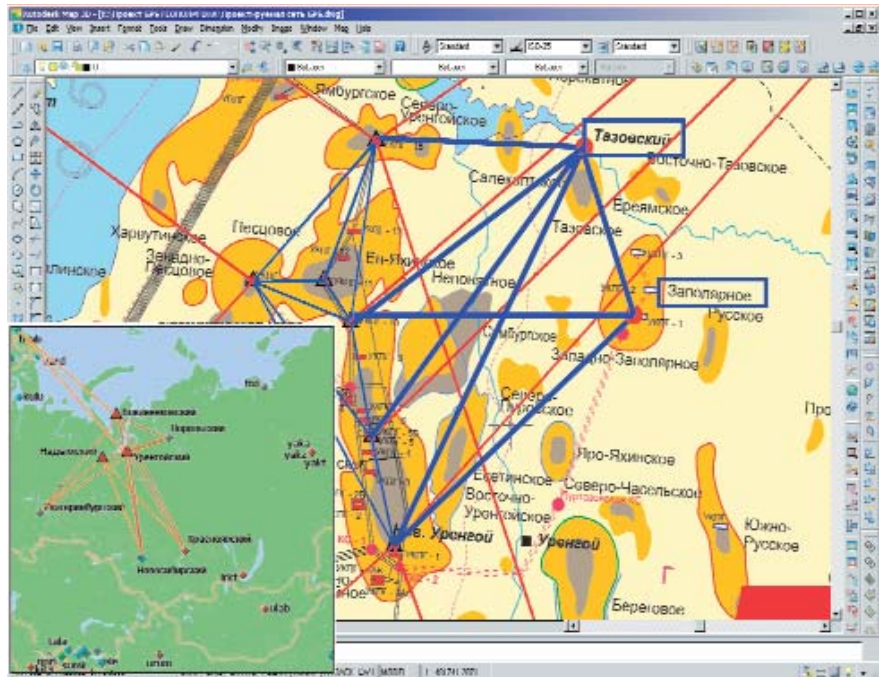


Рис. 1. Система наблюдений на основе постоянно действующих GPS-пунктов в Ямало-Ненецком автономном округе

разрабатываемых месторождений дочерних обществ.

По результатам измерений на вышеуказанных GPS-пунктах были получены значения вертикальных смещений (рис. 2).

Из графиков, приведенных на рис. 2, следует:

- ◆ по всем приведенным GPS-пунктам наблюдается общая тенденция, свидетельствующая о наличии смещений земной поверхности в контурах месторождений ЯНАО относительно внешних мониторинговых пунктов;
- ◆ величины оседаний на двух

GPS-пунктах Заполярного месторождения за один год составили порядка 1 см, а в целом за этот же период по другим пунктам не превышают 2,4 см при точности определения координат не ниже 2 мм.

В качестве высокоточного площадного метода наблюдений за смещениями земной поверхности в 2006 г. в ООО «ВНИИГАЗ» начали применять технологию космической радиолокационной дифференциальной интерферометрии. Она представляет собой эффективное средство прямого картирования смещений земной поверхности и деформаций сооружений. При этом существует возможность применять эту технологию как отдельно от вышеперечисленных других методов определения смещений поверхности, так и в комплексе с ними (что представляется наиболее рациональным). Принципиальное преимущество дифференциальной радиолокационной интерферометрии перед другими методами мониторинга вертикальных и плановых деформаций заключается в прямом замере различий в рельефе, произошедших за период между двумя (тремя, четырьмя и более) съемками. Получаемый в результате интерферометрической обработки файл смеще-

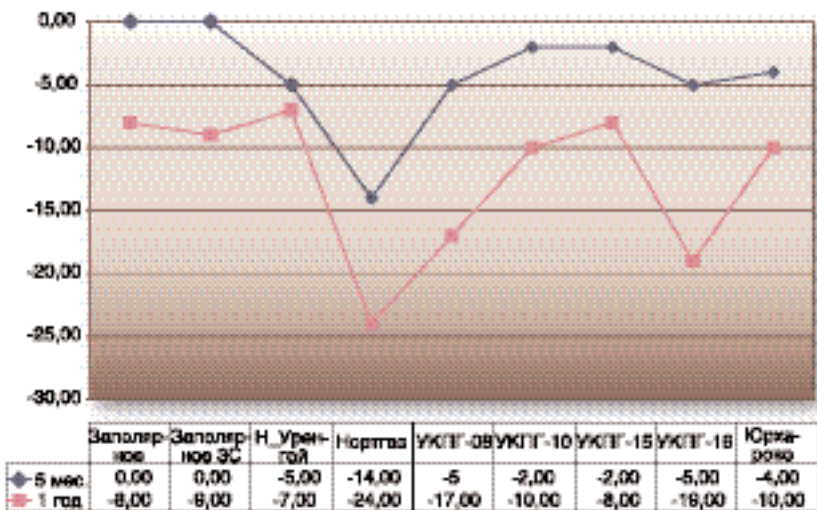


Рис. 2. Оседания земной поверхности по результатам GPS-измерений

ния, как правило, показывает интегральную картину смещений. Обычно она складывается из различных природных и техногенных составляющих. Точечная калибровка полученных карт смещений земной поверхности может осуществляться по данным GPS-наблюдений.

Космический радиолокационный мониторинг просадок, вызванных разработкой нефтегазовых месторождений, успешно осуществляется за рубежом с середины 1990-х годов. В силу различных причин в России метод радиолокационного интерферометрического мониторинга смещений земной поверхности не получил широкого распространения. Однако его преимущества очевидны. Это прежде всего возможность осуществлять мониторинг деформаций любых территорий (в том числе, значительных по площади и

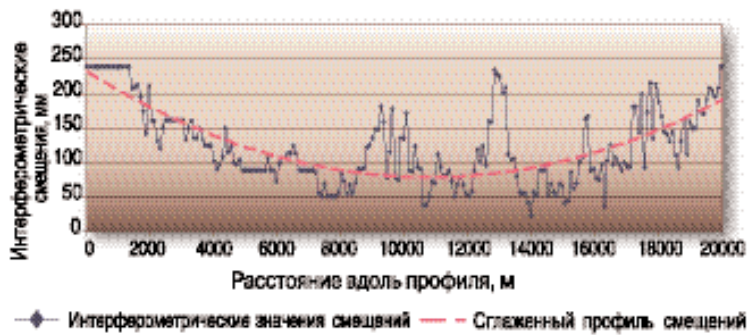


Рис. 4. Профиль смещений земной поверхности по линии АБ, построенный по данным радарной интерферометрии

протяженности) с высокой точностью при небольшой стоимости работ (на порядок ниже аналогичных по точности дистанционных методов, например лазерного сканирования). Объем работ по наземному обеспечению мониторинга представляется выполнимым маркшейдерскими службами добывающих предприятий (при необходимости – с привлечением соисполнителей).

Получаемая на выходе карта смещений поверхности, помимо ответа на вопрос о наличии и величине просадок, несет в себе информацию о природной и техногенной геодинамике и может использоваться для оценки экологической и геодинамической безопасности разработки месторождения, прогноза рисков, мониторинга деформаций промышленных сооружений, трубопроводов и т. д. Кроме того, для прогнозирования ожидаемых техногенных оседаний, вызванных разработкой месторождений, применяются модельные расчеты. Несмотря

на то что они характеризуется значительными допущениями (в частности, необходимо оценивать значения объемного модуля упругости породного скелета от пласта-коллектора до земной поверхности), информация об ожидаемых техногенных просадках, вызванных разработкой, без сомнения, является крайне интересной и полезной.

Наземные инструментальные геодезические измерения на реперах позволяют получить значения смещений в точках и по профилю, но построить достоверную непрерывную карту просадок (сдвижений) земной поверхности на всю площадь месторождения по этим данным не представляется возможным, поскольку между узловыми точками и профилями необходимо будет выполнить обычную интерполяцию. Кроме того, эти наблюдения, как уже отмечалось выше, не всегда могут выполняться в оперативном мониторинговом режиме, и промежуток между повторными наблюдениями может достигать 20 лет.

Таким образом, по мнению авторов, каждый из вышеописанных методов наблюдений за деформационными процессами имеет свои преимущества и недостатки, из чего следует, что для взаимного уточнения и взаимоконтроля все эти методы должны применяться в комплексе. Для иллюстрации приведем несколько примеров такого комплексного мониторинга смещений земной поверхности космическими, геодезическими и расчетными методами. Объектами исследований являлись Заполярное, Урен-

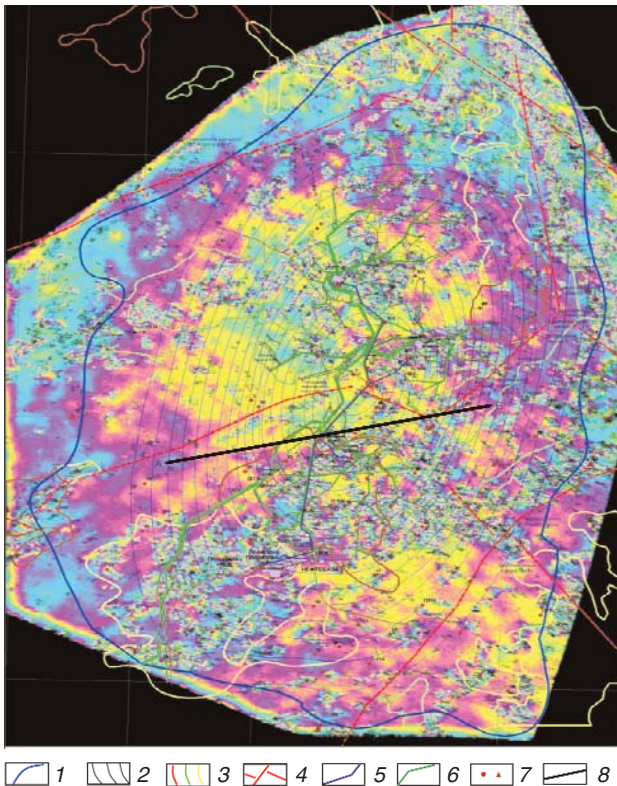


Рис. 3. Карта вертикальных смещений земной поверхности по Заполярному месторождению:

1 – контур горного отвода на Заполярное месторождение; 2 – изолинии расчетной мульды сдвижений земной поверхности; 3 – контуры участков развития различных типов термокарста; 4 – разломы; 5 – нивелирные ходы; 6 – промышленные трубопроводы; 7 – разведочные и наблюдательные скважины; 8 – профиль АБ на интерферограмме

гойское и Астраханское газоконденсатонефтяные месторождения.

Для анализа смещений на Заполярном месторождении была привлечена интерферометрическая пара радиолокационных снимков за июль 2004 г. и август 2005 г., сделанных со спутника ENVISAT (Европейское космическое агентство). По результатам специализированной дифференциальной интерферометрической обработки этих снимков была построена карта вертикальных смещений земной поверхности в единицах разности фаз (рис. 3). С этой картой совмещены ранее полученные данные по районированию геокриологических процессов, изолинии оседаний прогнозной мульды сдвига горных пород и инфраструктура Заполярного месторождения.

На рис. 4 показан профиль смещений земной поверхности по линии АБ на карте смещений. Отметим, что тренд, проведенный по профилю смещений АБ, хорошо коррелируется с расчетной мульдой прогнозируемых техногенных оседаний земной поверхности, вызванных разработкой месторождения. Она характеризуется концентрическими изолиниями просадок с возрастанием их величины от контура сеноман-

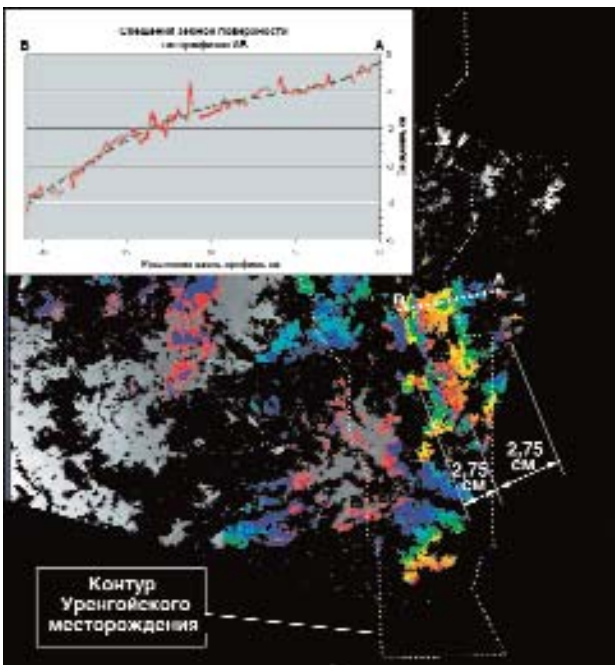


Рис. 5. Смещения земной поверхности на Уренгойском месторождении, зарегистрированные методом космической радиолокационной интерферометрии

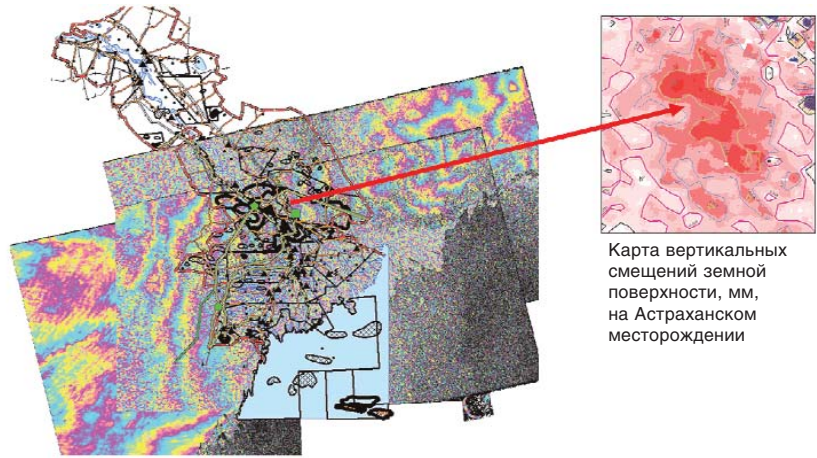


Рис. 6. Смещения земной поверхности на Астраханском месторождении и в целом в регионе северо-западного Прикаспия, зарегистрированные методом космической радиолокационной интерферометрии

ской залежи месторождения к ее центру (черные изолинии на рис. 3).

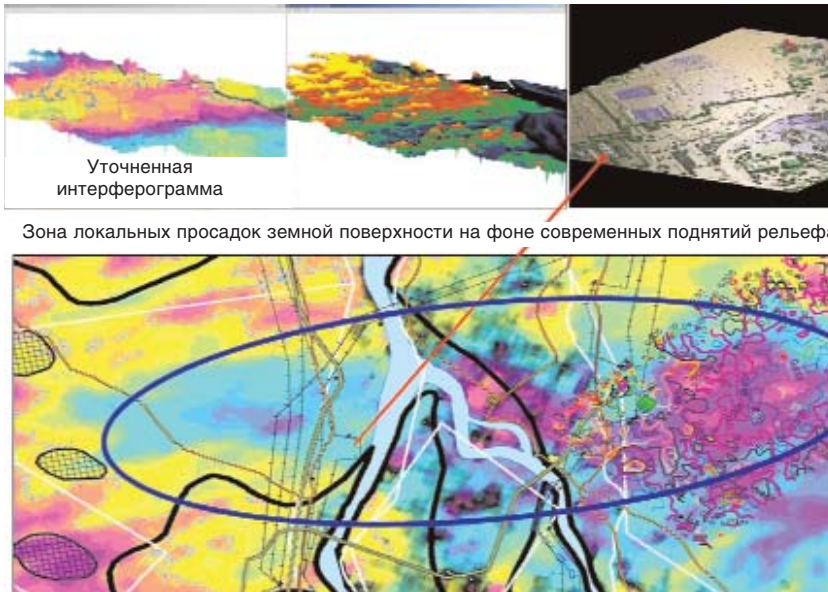
Далее перейдем от смещений земной поверхности в единицах разности фаз к метрической системе. Поскольку интерферометрический фринг (переход от синего цвета к следующему синему на интерферометрическом изображении на рис. 3) равен 2,5 см (половине длины волны радарного интерферометра), то сглаженные значения оседаний земной поверхности составляют за год 1–1,5 см (иллюстрация на примере профиля АБ, см. рис. 4). Эти данные практиче-

ски полностью совпадают с результатами, полученными по наблюдениям на GPS-пунктах Заполярного месторождения. Области геокриологических процессов, ранее выделенные на основе дешифрирования оптических космоснимков, практически полностью совпадают с областями мозаичного отображения интерференции на территории месторождения (на профиле – резко изменяющиеся значения).

Аналогичные

работы по космическому радиолокационному мониторингу смещений земной поверхности были выполнены на Уренгойском месторождении. В данном случае были обработаны снимки ENVISAT за август 2003 г. и август 2004 г. В результате получена картограмма смещений земной поверхности за период в один год, представленная на рис. 5. На этом рисунке один спектр цветов (интерференционный цикл) от красного цвета до следующего красного цвета соответствует оседаниям земной поверхности в 2,75 см. Всего на рисунке четко заметны два последовательных интерференционных цикла. Для удобства интерпретации здесь также представлены смещения по профилю АБ.

В качестве еще одного объекта исследований было выбрано Астраханское месторождение. Здесь для анализа смещений в региональном масштабе были привлечены разновременные радиолокационные снимки, сделанные спутником ENVISAT в широкополосном режиме (размер кадра – 400×400 км). Для анализа же смещений на самом месторождении использовались снимки в обычном режиме ENVISAT. Результаты этого анализа представлены на рис. 6. На фоне цветного изображения интерферограммы коричневой линией показаны границы Астраханской области. Черные линии – элементы топливно-энергетического комплекса (лицензионные участки, перспективные структуры, границы месторож-



Зона локальных просадок земной поверхности на фоне современных поднятий рельефа

Рис. 7. Уточнение результатов интерферометрии по данным лазерного сканирования (внизу – исходная интерферограмма). Синий овал – зафиксированная зона просадок земной поверхности в районе Астраханского месторождения

дений). Пятнистый рисунок интерферограммы на северо-востоке соответствует активной соляно-купольной тектонике.

Хорошо заметны ярко выраженные региональные смещения земной поверхности, зарегистрированные по различным парам снимков с 2003 по 2007 г. Они характеризуются примерно одинаковыми величинами, но знакопеременным направлением. Возможным объяснением зарегистрированных смещений может быть явление, извест-

ное как «дыхание земли». С другой стороны, непосредственно в районе Астраханского месторождения за трехлетний период наблюдений (с 2003 по 2006 г.) уверенно фиксируется монотонное оседание поверхности с интенсивностью примерно 1 см в год (врезка справа на рис. 6). Полученные результаты свидетельствуют о наличии в районе Астраханского месторождения как природной, так и техногенной составляющей смещений земной поверхности.

На рис. 7 показаны результаты уточнения зарегистрированных интерферограмм по данным лазерного сканирования на этапе выделения топографической компоненты фазы.

Все вышеописанные результаты свидетельствуют о высокой эффективности комплексного использования космических и геодезических методов для решения задач мониторинга природных и техногенных смещений земной поверхности. Эти результаты учтены при подготовке ООО «ВНИИГАЗ» отраслевого стандарта «Методика проведения космического мониторинга состояния территорий горных отводов для обеспечения промышленной безопасности при добыче и хранении нефти и газа». ■

Monitoring of the displacement of land surface at hydrocarbon fields with the use of a system of space and geodetic methods

Yu. B. Baranov, E. V. Kantemirov, E. V. Kiselevskiy, S. E. Nikiforov, S. A. Vergeles, V. V. Bisyanskiy

The article discusses some results of the monitoring of land surface subsidence at large gas condensate and oil fields, such as Urengoi, Zapolyarnoe and Astrakhanskoe fields. Both natural and anthropogenic factors of the land surface subsidence are described.

Безвременно ушел из жизни

Алексей Дмитриевич Башкатов,

известный специалист в области сооружения скважин, академик РАН, доктор технических наук, автор более 80 научных работ, в том числе 5 монографий, 30 авторских свидетельств и патентов на изобретения.

Алексей Дмитриевич специализировался на вопросах заканчивания скважин и схем отработки месторождений, технологии вскрытия продуктивных пластов при минимизации кольматационных процессов, создании каверн и расширении ствола скважины, выборе рациональных конструкций фильтров. Он внес большой вклад в развитие отечественной науки и производства: создал новую теорию работы скважины в интервале продуктивного пласта, участвовал в разработке и внедрении ряда прогрессивных технологических средств, инструмента и оборудования для бурения, ремонта и опробования скважин. В течение многих лет Алексей Дмитриевич возглавлял созданный им коллектив единомышленников – Институт проблем недропользования РАН, выполнявший работы по проектированию и сооружению скважин в сложных условиях, когда традиционные решения не дают положительных результатов.

Алексей Дмитриевич Башкатов награжден орденом «За заслуги перед Отечеством», Золотыми медалями им. В. И. Вернадского и им. А. С. Попова, почетным знаком «За пользу Отечеству» им. В. Н. Татищева, ему присвоено звание лауреата РАН «Во славу и пользу Отечества».

Светлая память об Алексее Дмитриевиче Башкатове навсегда сохранится в сердцах его родных и близких, многочисленных коллег, знавших его и работавших с ним многие годы.

Российский государственный геологоразведочный университет, РАН, НП НАЭН, ФГУП «Волгагеология», редакционная коллегия и редакция журнала «Недропользование-XXI век»