УДК 551.248.2:(528:004)

НОВЫЙ ПОДХОД К МЕТОДИКЕ СОСТАВЛЕНИЯ ЦИФРОВЫХ НЕОТЕКТОНИЧЕСКИХ КАРТ

А.П.Хилько, И.А.Хилько

Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья, Новосибирск, Россия

Приведена методика построения цифровых неотектонических карт с использованием программных комплексов ArcMap, Kingdom, Surfer и др., отличающаяся от ранее применявшихся методик. В ее основе лежит не только геологическая и геоморфологическая информация, но, что существенно, современная кинематика земной поверхности (вертикальные скорости, линеаментная делимость земной коры и ее эрозионная составляющая). При этом в сумме данных параметров сохраняется метод актуализма и увеличивается рубеж неотектонического этапа, сопоставимый с ранее принятым и обоснованным возрастом (поздний палеоген – ранний неоген). Кроме того, как отрицательный фактор, исчезает бронирующая роль интрузивных и изверженных пород, а также других отложений, сопоставимых по устойчивости к процессам выветривания и денудации. Установлено, что при применении рассматриваемой методики существенно изменяется облик новейших деформаций сравнительно с ранее изданными картами. Это, несомненно, повлияет и на прогноз полезных ископаемых с учетом новейшей тектоники.

Ключевые слова: неотектоника, методика построения неотектонических карт, современные вертикальные скорости, радарная интерферометрия, эрозионная составляющая рельефа, геолого-геоморфологическая основа, программы ArcMap, Kingdom, Surfer.

A NEW APPROACH TO THE METHOD OF MAKING OF DIGITAL NEOTECTONIC MAPS

A. P. Khilko, I. A. Khilko

Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources, Novosibirsk, Russia

A technique for constructing digital neotectonic maps using the ArcMap, Kingdom, Surfer, and other software systems that is different from the previously used techniques for these constructions is presented. It is based not only on geological and geomorphological information, but what is essential, the modern kinematics of the earth's surface, that is, vertical velocities, lineament division of the earth's crust and its erosion component. In this case, the sum of these parameters retains the method of actualism and increases the boundary of the neotectonic stage, comparable with the previously accepted and justified age – the Late Paleogene – the Early Neogene. In addition, it disappears, as a negative factor, the reservation of the role of intrusive and igneous rocks, as well as other deposits, comparable in strength to the processes of weathering and denudation. It has been established that when applying the method of work considered in the article, the appearance of the latest deformations changes significantly, in contrast to previously published maps, which will undoubtedly affect the forecast of certain minerals taking into account the latest tectonics.

Keywords: neotectonics, neotectonic map construction methodology, modern vertical speeds, radar interferometry, erosion component of the relief, geological and geomorphological basis, ArcMap, Kingdom, Surfer programs.

DOI 10.20403/2078-0575-2020-2-3-11

За последние 60 дет (начиная с карты под редакцией Н. И. Николаева, С. С. Шульца, 1959 г.) в изучении неотектоники, особенно методики и получаемых вертикальных деформаций, ничего не изменилось. Составители карт до сих пор пользуются материалами тех лет и лишь морфоструктурным анализом, хотя в объяснительных записках декларируют использование новых методик. Единственное направление, которое в той или иной мере разрабатывается, – это изучение новейшей трещиноватости и сопутствующих деформаций [10].

При наличии синхронных неотектоническому этапу отложений используются их структурные горизонты и привлекаются палеогипсометрические карты соответствующих отрезков времени, а на площадях эрозионно-денудационного рельефа – отметки поверхностей выравнивания среднего – позднего кайнозоя, проще говоря, рельеф. И это один из основных недостатков при построении карт новейшей тектоники. Влияния неотектонических движений на переустройство рельефа – становления современного лика земли не отрицаются [6]. Но неучет (за редким исключением) бронирующей роли изверженных или интрузивных пород и (во втором случае) игнорирование данных по современной вертикальной кинематике земной поверхности значительно искажают неотектоническую картину.

Влияние литоморфного фактора при составлении схем деформаций исходной поверхности выравнивания рассмотрено в работе А. Г. Золотарева [1]. Однако и здесь все сводится к введению поправки (20–60 м) к абсолютным отметкам исходной поверхности выравнивания в зависимости от типа пород. При отметках рельефа, например, БайкалоПатомского нагорья [1], 1000 м и более это практически не искажает общую картину деформаций исходной поверхности. Но применение данного метода невозможно для обширных сплошных полей развития пород, устойчивых к выветриванию (плато Путорана), или выхода массивных силлов и т. п., поскольку здесь нет исходной поверхности, связанной с другими породами.

Кроме того, данная методика в большей степени относится к горным сооружениям, а в отношении территорий обширного развития карбонатных пород или более рыхлых терригенных отложений, перекрытых толщами позднечетвертичных образований, она опять же слабо применима.

В настоящей работе предлагается разработанная на основе многолетних исследований (со времени появления компьютерных технологий) методика построения неотектонических карт нового поколения, в той или иной степени приближенная к составлению структурных карт.

На исследуемой территории необходимо провести комплекс следующих работ вне зависимости от их масштаба:

1. Составление схем современных вертикальных движений земной коры с привлечением архивных материалов и методики с использованием радарных интерферометрических изображений по определенной сети наблюдений в зависимости от масштаба работ.

2. Дешифрирование линеаментных систем и оцифровка эрозионной составляющей рельефа (гидросети, а при детальных работах и овражной сети) с составлением карт и схем их плотностных характеристик.

3. Выделение эталонных участков для количественной оценки неотектонических движений, а при необходимости – проведение полевых работ на этих площадях для заверки. При этом необходимо учитывать наличие отложений среднего – верхнего палеогена или неогена для низменных областей и присутствие выраженных кор выветривания мел-палеогенового возраста для платформ, горных сооружений и переходных областей.

4. Выделение активизированных или сформированных в новейший тектонический этап разломов и тектонических зон, по возможности с градацией по их кинематике и размерности.

5. Структурное картирование отложений среднего верхнего палеогена на площадях, где присутствуют осадочные отложения, синхронные неотектоническому этапу; палеогипсометрические исследования этих отрезков геологического времени.

6. Выполнение результирующих работ в программных комплексах ArcMap, Kingdom, Surfer и др.

Для областей развития морских, озерно-морских и континентальных отложений среднего – позднего кайнозоя определение амплитуд неотектонических движений осуществляется в основном геологическими методами [7], но они определяют только общее направление новейших деформаций. Существенно, что далее добавляются параметры, как в локальном, так и в региональном плане прямо отвечающие за новейшую геодинамику земной поверхности, - плотностные характеристики гидросети, линеаментных систем (эрозионно-аккумулятивные параметры) и современные вертикальные скорости. Последние могут быть получены с использованием современных технологий (GPS-геодезии) или по радарным интерферометрическим изображениям [11]. Непременным условием при этом является учет их колебательного характера, поскольку они имеют сложную природу и включают в себя волновые перемещения, в том числе короткопериодичные. Приведенные в статье рисунки основаны только на архивных и литературных материалах повторного геодезического нивелирования [3, 8].

Например, в Широтном Приобье значения абсолютных скоростей (мм/год) положительные, показатели плотностных характеристик гидросети и линеаментных систем высокие. При условии отрицательных значений отметок средне-верхнепалеогеновых уровней и, соответственно, отрицательной палеогипсометрии новейшие амплитуды будут здесь положительными и высокоинтенсивными (рис. 1). Все это высчитывается в программном комплексе ArcMap с последующей незначительной компьютерной редакцией.

На карте новейшей тектоники центральной области Западно-Сибирской плиты, составленной А. П. Хилько с учетом приведенных параметров, в виде контрастных положительных структур с амплитудами поднятий от 100 до 120 м и более выделяются Александровский, Пылькаралькинский, Пайдугинский и другие мегавалы; как отрицательные тектонические элементы с амплитудами опусканий до нулевых отметок – Толькинский мегапрогиб, Усть-Тымская мегавпадина и т.д. Следует подчеркнуть, что указанным автором проведены подобные исследования и на других площадях Западно-Сибирской плиты и Енисей-Хатангского регионального прогиба (на Красноленинском и Сургутском сводах, Сузунском и Русско-Реченском мегавалах, Гыданском и Ямальском полуостровах и т. д.), где наблюдается то же контрастное проявление новейших деформаций.

Значения амплитуд в данном конкретном случае уже не зависят только от положения используемого структурного уровня. С внесением параметров современной геодинамики земной коры и эрозионной составляющей рельефа (последнее увеличивает временной геологический интервал) значительно меняется облик неотектонических деформаций. Непременным условием при этом считается априори унаследованность тектонических движений, что подтверждается на региональном плане (рис. 2).

На фрагменте схемы (см. рис. 2) современных вертикальных движений земной поверхно-



Рис. 1. Фрагмент карты новейшей тектоники северной части Томской области и восточной части Ханты-Мансийского автономного округа

1 — изолинии амплитуд неотектонических движений; 2 — основные линеаменты, связанные с активизированными, градиентными перегибами толщин баженовского горизонта и его структурных поверхностей; 3 — границы тектонических элементов 1-го порядка; 4 — скважины глубокого бурения, вскрывшие баженовский горизонт



Рис. 2. Фрагмент схемы современных вертикальных движений земной коры Сибирской платформы по данным инструментальных измерений (по опубликованным материалам с дополнениями автора)

1 – изобаты и значения скоростей, мм/год; контуры структур: 2 – надпорядковых, 3 – первого порядка; 4 – месторождения УВ сти по данным инструментальных измерений как положительные структуры выделяются Непско-Ботуобинская и Анабарская антеклизы (кроме центральной области Анабарского мегасвода). Анабарская антеклиза почти по всему периметру в современной кинематике земной поверхности имеет градиентную границу с перепадом скоростей до 8–10 мм/год.

Как отрицательные структуры определены Курейская (скорость абсолютных опусканий до –4 мм/год) и Присаяно-Енисейская (до –12 мм/год) синеклизы и др. Следует отметить, что даже при имеющейся очень редкой сети геодезических наблюдений на Сибирской платформе современные вертикальные скорости отличаются значительной дифференциацией, хотя мы рассматриваем не горные сооружения, а стабильные тектонические области.

Отличительная особенность рассматриваемой методики — разделение исследуемого региона на полигоны, различающиеся геологическим развитием: преимущественно денудационным или денудационно-аккумулятивным, аккумулятивным (низменные области) или горным, рифтовым и т. д.

Полигоны разделяются на несколько типов. Для этого строится соответствующая схема районирования исследуемой территории, которая может включать отдельные регионы (Сибирская платформа, Западно-Сибирская плита и Енисей-Хатангский прогиб, горно-сладчатые сооружения и т.д.) или их отдельные площади), что зависит от масштаба работ.

Типы полигонов выделяются по следующим основаниям:

 – наличие осадочных палеоген-неогеновых отложений и схожесть геологического развития в позднепалеоген-четвертичное время (плиты, впадины, прогибы);

 – площади с эрозионно-денудационным рельефом, где подсчет амплитуд осуществляется с частичным использованием поверхностей выравнивания (платформы, переходные области);

– горно-складчатые сооружения, рифы и др., для которых характерны сводово-глыбовые и блоковые поднятия или опускания; для характеристики распределения новейших деформаций привлекаются разломы, а карты строятся в программных комплексах Kingdom или Surfer.

Для карт м-ба 1: 1 000 000 и крупнее территорий, характеризующихся спокойным тектоническим режимом в кайнозойском периоде, можно использовать единый полигон. Если включить в него, например, центральную область Западно-Сибирской плиты, ее обрамление и Енисей-Хатангский прогиб, это автоматически позволит с эталонного участка на основе геологического материала перенести подсчет новейших амплитуд на всю площадь полигона; из расчета выпадает структурная поверхность, но остаются другие параметры, скоррелированные на эталоне. Тогда используются следующие гриды (программа ArcMap, модуль Spatial Analyst):

 суммарный показатель плотности гидросети и линеаментов (локальная составляющая новейших деформаций);

 современные вертикальные скорости (региональная основа новейших перегибов);

 редкая сеть показателя величин неотектонических движений в пределах выбранного полигона, полученного по соотношению значений суммарной плотности гидросети и линеаментов и неотектонических амплитуд в пределах эталона, где присутствуют отложения, синхронные неотектоническому этапу.

Проведенные ранее работы в Западной Сибири напрямую указывают на зависимость указанных параметров (рис. 3).



Рис. 3. График соотношения амплитуд неотектонических движений, полученных с привлечением геологических данных и современных вертикальных скоростей земной поверхности, и суммарного показателя гидросети и линеаментов (Широтное Приобье) (Х – суммарный показатель плотностных характеристик гидросети и линеаментов)

Для платформ и горных сооружений, характеризующихся преимущественным развитием денудационного рельефа, где на более или менее значительных площадях отсутствуют кайнозойские отложения, подсчет амплитуд, как и ранее, основывается на анализе поверхностей выравнивания. Но здесь есть значительное отличие от методики, использовавшейся ранее при построении региональных карт новейшей тектоники. В первую очередь выбирается эталонный участок, где картируется выраженная денудационная поверхность выравнивания с наличием коры выветривания верхнего палеогена или неогенового аккумулятивно-денудационного уровня. Участок выбирается с учетом наличия инструментальных или других данных по современным вертикальным скоростям земной поверхности.

Оцифровка гидросети проводится по возможности с учетом прямолинейности отрезков, что под№ 2(42) ♦ 2020

разумевает ее заложение в изначально трещиноватых зонах. На выбранном участке суммарный показатель выявленной трещиноватости, вертикальных скоростей и плотностных характеристик эрозионной составляющей дневного рельефа соотносится с абсолютными отметками выбранного уровня с учетом его палеогипсометрии на время формирования выбранной (исходной) поверхности выравнивания. Далее карта строится на весь выбранный полигон в программном комплексе ArcMap без учета влияния субъективного фактора.

По сути, региональную составляющую новейших движений (величину амплитуд) получаем с учетом гипсометрии поверхностей выравнивания и ее положения на период формирования в пределах эталонной площади. Далее эти значения зависят уже только от перечисленных параметров. Непременным условием является проверка полученного коэффициента, на который умножается суммарный показатель, на нескольких схожих по геологическому развитию участках. Затем полученный показатель усредняется. Кроме того, можно, а в условиях преобладания эрозии на основных площадях – необходимо для определения амплитуд и усреднения результатов использовать метод глубин врезов, предложенный С. С. Соболевым [9]. Он в какой-то мере является аналогом метода мощностей, который в геологии используется для вычисления количественной стороны отрицательных движений [4].

В итоге получается равномерное распределение пликативных деформаций по всей площади выбранного полигона вне зависимости от рельефа или часто бронирующей роли изверженных или интрузивных пород (траппов, силлов и т.д.). По предлагаемой методике А. П. Хилько в 2010 г. впервые составлена карта новейшей тектоники регионального масштаба Сибирской платформы в связи с проведением параметрического бурения (рис. 4). Судя по полученным данным, развитие в неотектонический этап только Вилюйской гемисинеклизы и южной части Сибирской платформы в определенной степени отвечает тем представлениям, которые были положены в основу карты новейшей тектоники нефтегазоносных областей Сибири под ред. Н. А. Флоренсова и И. П. Варламова (1978 г.). Это же относится и карте новейшей тектоники Северной Евразии под ред. А. Ф. Грачева (1997 г.), на которой ее сибирская часть просто скопирована с карты 1978 г., а новейшая складчатость определялась в основном из деформаций соответствующих поверхностей выравнивания.

Карта площадей активного новейшего тектогенеза (горных сооружениях, рифтах и т. д.) строится также по полигонам, но с учетом разломов, как уже указывалось, в программных комплексах Kingdom, Surfer и др. Как пример подобных построений в статье приводится фрагмент карты новейшей тектоники центральной части Байкальского рифта и прибрежной территории (рис. 5). На нее вынесены все основные нарушения, выделенные по геологогеофизическим данным и градиентным линейным зонам изобат, толщинам неоген-четвертичных осадков и потенциальным полям, в той или иной мере влияющим на новейший тектонический облик Байкала. Использовались также материалы Института земной коры (Иркутск), в частности цифровая карта разломов [5], а также карта современной геодинамики, составленная А. Г. Золотаревым и др. (Иркутский государственный университет), и другие карты. Перечисленные параметры составляли основу для построений, т.е. основной грид карты формировался в программе ArcMap, а далее она строилась в программном комплексе Kingdom.

При составлении карт новейшей тектоники различного масштаба большое внимание уделяется разрывным нарушениям. Поскольку она отражает новейший тектогенез, то из разломов, выделяющихся по геолого-геофизическим данным, на карту выносятся только те, которые отражены в материалах дистанционного зондирования Земли, т. е. в дневном рельефе и различных его элементах. Несомненно, при этих исследованиях дополнительно фиксируются все основные линеаменты, в той или иной степени выраженные в потенциальных полях в виде флексур. По сути, это активизированные тектонические зоны.

Основу легенд карт составляет легенда, разработанная для карты новейшей тектоники нефтегазоносных областей Сибири. В этой части нет необходимости что-либо менять, поскольку она учитывает основные неотектонические параметры, отражающие степень активизации тех или иных участков земной коры. Также при построении карт в цифровом варианте есть возможность менять сечение амплитуд неотектонических движений в любую сторону в зависимости от масштаба работ и тектонической мобильности различных регионов, что предусматривалось и в разработанных ранее легендах.

В заключение необходимо отметить, что современным требованиям не отвечают методические приемы при картопостроениях, основанные на деформациях поверхностей выравнивания без учета других параметрах, в той или иной мере влияющих на новейшие движения земной поверхности, а также неиспользование современных компьютерных технологий. Часто они приводят к весьма противоречивым результатам по отношению к современным вертикальным скоростям земной коры, разломной и сейсмической активности регионов.

В настоящей статье рассмотрена методика составления цифровых неотектонических карт разного масштаба, которые можно включать в комплект ГК-200/2 и 1000/3. Такая методика уже использовалась авторами для построения листов N-44 (м-б 1:1000 000) и P-44-XX–XXI, XXVI–XXVII (четыре





Границы: 1 – нефтегазоносных провинций, 2 – надпорядковых тектонических структур, 3 – суперпорядковых тектонических структур, 4 – тектонических структур 1-го порядка; 5 – основные региональные разломы по геолого-геофизическим данным; 6 – месторождения УВ; 7 – параметрические скважины

Nº 2(42) ♦ 2020



листа м-ба 1:200000). В зависимости от исследуемой площади методика основана на комплексировании (суммировании) различных параметров, характеризующих динамику земной поверхности и кайнозойских структурных горизонтов. В конечном варианте составляются карты с использованием программного комплекса ArcMap и др. и при создании GIS-проектов, которые содержат, как уже указывалось, несколько слоев карт, описывающих различные стороны проявления неотектонических процессов.

Это позволит свести в единый проект данные разнообразных источников (аэрокосмические, геолого-геофизические, опубликованные и фондовые материалы, скорости движений и т.д.) с последующим комплексным анализом всех данных. Необходимо также обновление региональных неотектонических карт, в частности карты новейшей тектоники нефтегазоносных областей Сибири, изданной еще в прошлом веке [2] и подобных ей.

Необходимо подчеркнуть следующее. Значительную информацию могут нести карты и схемы современных вертикальных скоростей земной поверхности, полученные с использованием радарных интерферометрических изображений. Они могут использоваться во многих отраслях народного хозяйства, в том числе при поисках полезных ископаемых. Необходима также разработка цифровой легенды подобных карт, поскольку до сих пор нигде принципы ее создания не описаны, этого нет ни в одном методическом руководстве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Золотарев А. Г.** Рельеф и новейшая структура Байкало-Патомского нагорья. – Новосибирск: Наука, 1974. – С. 64–80. 2. **Карта** новейшей тектоники нефтегазоносных областей Сибири. Масштаб 1:500000 / ред. Н. А Флоренсов, И. П. Варламов. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 1978.

3. Колмогоров В. Г. Кинематика земной поверхности Западной Сибири по результатам инструментальных методов // Геология и геофизика. – 1997. – Т. 38, № 9. – С. 1538–1548.

4. **Лоскутов Ю. И.** История развития рельефа Якутской алмазоносной провинции в кайнозое. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 2019. – С. 104–108.

5. **Лунина О. В.** Цифровая карта разломов для плиоцен-четвертичного этапа развития земной коры юга Восточной Сибири и сопредельной территории Северной Монголии // Геодинамика и тектонофизика. – 2016. – Т. 7, № 3. – С. 407–434.

6. **Николаев Н. И.** Неотектоника и ее выражение в структуре и рельефе территории СССР. – М.: Госгеолтехиздат, 1962. – С. 7–11; 36–60.

7. **Новейшая** тектоника нефтегазоносных областей Сибири / под ред. Н. А. Флоренсова, И. П. Варламова. – М.: Недра, 1981. – С. 8–28.

8. **Процессы** формирования рельефа Сибири / Н. А. Флоренсов, Л. Н. Ивановский, Г. Ф. Уфимцев и др. – Новосибирск: Наука, 1987. – С. 113–120.

9. Спектор В. Б. Рельеф Якутии // Вестн. Госкомгеологии. – 2001. – № 1. – С. 18–27.

10. Тимурзиев А. И. Новейшая сдвиговая тектоника осадочных бассейнов: тектонофизический и флюидодинамический аспекты (в связи с нефтегазоносностью): автореф. дис. ... д. г.- м. н. – М., 2009. – 40 с.

11. Филатов А. В. Мониторинг деформаций земной поверхности в районах интенсивной нефтедобычи по радарным интерферометрическим изображениям Envisat. – Ханты-Мансийск, Югорский НИИ информационных технологий, 2006. – Точка доступа: http://www. iki. rssi. ru/earth/pres2006/filatov. pdf.

REFERENCES

1. Zolotarev A.G. *Relyef i noveyshaya struktura Baykalo-Patomskogo nagorya* [Relief and the latest structure of the Baikal-Patom Highlands]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1974, pp. 64–80. (In Russ.).

2. Karta noveyshey tektoniki neftegazonosnykh oblastey Sibiri. Masshtab 1:500000. Redaktory: N.AFlorensov, I.P.Varlamov [Map of the latest tectonics of oil and gas regions of Siberia. Scale 1: 500,000. Eds N. A. Florensov, I. P. Varlamov]. Novosibirsk, SNIIGGiMS Publ., 1978. (In Russ.).

3. Kolmogorov V.G. [Kinematics of the Earth's surface in Western Siberia according to the results of instrumental methods]. *Geologiya i geofizika*, 1997, vol. 38, no. 9, pp. 1538–1548. (In Russ.).

4. Loskutov Yu.I. *Istoriya razvitiya relyefa Yakutskoy almazonosnoy provintsii v kaynozoye* [The history of the development of the relief of the Yakutskaya diamondiferous province in the Cenozoic]. Novosibirsk, SNIIGGiMS Publ., 2019, pp. 104–108. (In Russ.).

5. Lunina O.V. [the digital map of the Pliocene– Quaternary crustal faults in the Southern East Siberia and the adjacent Northern Mongolia]. *Geodinamika i tektonofizika*, 2016, vol. 7, no. 3, pp. 407–434. (In Russ.).

6. Nikolaev N.I. *Neotektonika i yeye vyrazheniye v strukture i relyefe territorii SSSR* [Neotectonics and its expression in the structure and relief of the USSR territory]. Moscow, Gosgeoltekhizdat Publ., 1962, pp. 7–11, 36–60. (In Russ.).

7. Noveyshaya tektonika neftegazonosnykh oblastey Sibiri. Red. N.A.Florensov, I.P.Varlamov [The latest tectonics of oil and gas regions of Siberia. Ed. N.A.Florensov, I.P.Varlamov]. Moscow, Nedra Publ., 1981, pp. 8–28. (In Russ.).

8. Florensov N.A., Ivanovsky L.N., Ufimtsev G.F., et al. *Protsessy formirovaniya relyefa Sibiri* [The processes of forming the relief of Siberia]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1987, pp. 113–120. (In Russ.).

9. Spector V.B. [Relief of Yakutia] Vestnik. Goskomgeologii, 2001, no. 1, pp. 18–27. (In Russ.).

10. Timurziev A.I. Noveyshaya sdvigovaya tektonika osadochnykh basseynov: tektonofizicheskiy i flyuidodinamicheskiy aspekty (v svyazi s neftegazonosnostyu. Avtoreferat kand. dis.) [The latest shear tectonics of sedimentary basins: tectonophysical and fluid dynamic aspects (in connection with oil and gas potential). Author's abstract of PhD thesis]. Moscow, 2009, 40 p. (In Russ.).

11. Filatov A.V. Monitoring deformatsiy zemnoy poverkhnosti v rayonakh intensivnoy neftedobychi po radarnym interferometricheskim izobrazheniyam Envisat [Monitoring of deformations of the earth's surface in areas of intensive oil production using radar interferometric images Envisat]. Khanty-Mansiysk, Ugra Research Institute of Information Technology Publ., 2006. Available at: http://www.iki.rssi.ru/earth/ pres2006/filatov. pdf. (In Russ.).

© А. П. Хилько, И. А. Хилько, 2020