МОРФОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РЕЛЬЕФА ЮГО-ЗАПАДНОГО ПРИТИМАНЬЯ И ПРОГНОЗНАЯ ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ТРАКТ-СИНДОРСКОГО УЧАСТКА МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА В ЗОНЕ ГЕОДИНАМИЧЕСКИ НЕСТАБИЛЬНЫХ СТРУКТУР

М. П. Тентюков, В. Ф. Лысова

Сыктывкарский государственный университет имени Питирима Сорокина, Сыктывкар
tentukov@yandex.ru, valentina271162@rambler.ru

В работе приводятся результаты морфометрического анализа рельефа Юго-Западного Притиманья на примере Вымско-Вишерского междуречья. В пределах Тракта-Синдорского участка магистрального газопровода выделены Трактовский и Синдорский морфоструктурные блоки, для которых дана прогнозная эколого-геологическая оценка устойчивости геосреды. Показано, что степень сейсмической уязвимости магистрального газопровода выше при пересечении им Синдорской площади, тогда как для Трактовской риск возникновения аварийных ситуаций связан с активизацией геомеханических процессов, обусловленных суффозионными и солифлюкционными процессами. Полученные данные повышают эффективность использования сил и средств при обеспечении безопасной эксплуатации магистральных газопроводов в районах геодинамически нестабильных структур.

Ключевые слова: морфометрия рельефа, геодинамическая нестабильность, неотектоника, магистральный газопровод, геологическая среда, аварии газопроводов.

MORPHOMETRIC ANALYSIS OF THE SOUTHWESTERN TIMAN REGION RELIEF AND PREDICTIVE ECOLOGY-GEOLOGICAL ASSESSMENT OF STABILITY OF THE TRACT-SINDORSKIY SECTION OF THE MAIN GAS PIPELINE IN THE ZONE OF GEODYNAMICALLY UNSTABLE STRUCTURES

M. P. Tentyukov, V. F. Lisova

Syktyvkar State University named after Pitirim Sorokin, Syktyvkar

The results of a morphometric analysis of the southwestern Timan region relief on the example of the Vymsko-Visher interfluvies have been presented in the paper. Within the Tract-Sindor section of the main gas pipeline the Tract and Sindor morphostructural blocks have been identified, for which a predictive ecological-geological assessment of the geological environment stability is given. It is shown that the degree of seismic vulnerability of the main gas pipeline is higher when it crosses Sindor area, while for the Tract area the risk of emergencies is associated with the activation of geomechanical processes caused by suffusion and solifluff processes. The data obtained increase the efficiency of the forces and assets use in the safe ensuring of gas trunkline operation in regions of geodynamically unstable structures.

Keywords: relief morphometry, geodynamic instability, neotectonics, main gas pipeline, geological environment, gas pipeline accidents.

Введение

Считается, что крупные техногенные и природные катастрофы, несущие людям гибель, разрушение важнейших объектов экономики и недопустимые воздействия на окружающую среду оказались неустраняемыми в прошлом и не могут быть полностью исключены в будущем. Принципиальным является факт, что техногенные и природные катастрофы находятся в прямом и косвенном взаимодействии, что не позволяет принять принцип раздельного предотвращения опасностей. Поэтому аварии и катастрофы стали уже специальным предметом фундаментальных научных и прикладных разработок во всех странах мира. В таких условиях крайне важно своевременно получить надежную информацию о характере возможных природно-техногенных опасностей в регионе. Для этого нужны специальные исследования территории, позволяющие выявить зоны наибольшей концентрации потенциально опасных объектов.

Постановка проблемы. Платформенный чехол северо-востока Европейской равнины наследует активные тектонические зоны, заложенные в кристаллическом фундаменте, которые дешифрируются на поверхности,

образуя своеобразный рисунок (рис. 1). Подвижки блоков литосферы в пределах данных геодинамически активных зон исследователями рассматриваются как следствие проявления общих колебательных процессов и локальных движений, которые в условиях новейшей тектонической активизации связаны с существующей сетью разрывных нарушений [6, 8]. В результате возникает мозаичная структура геодинамических зон. Предполагается, что эти участки характеризуются колебательными движениями разного порядка. При их пересечении магистральным газопроводом они могут рассматриваться как зоны повышенного риска возникновения аварий геодинамической природы. Выделение таких зон является актуальной проблемой, поскольку эти зоны редко обнаруживают себя при исследованиях трассы магистрального газопровода на предпроектном этапе. Риск возникновения аварий геодинамической природы возрастает уже при эксплуатации газопровода. Выявление его потенциально опасных участков предполагает проведение районирования линейного участка газопровода в геодинамически активной зоне. Оно основывается на обнаружении морфоструктурных, геофизических, геомеханических индикационных при-

Рис. 1. Схема дешифрирования линеаментов северо-востока Европейской платформы по космическим снимкам (По [6]). Линеаменты: 1 — надрегиональные, 2 — региональные, 3 — локальные, 4 — кольцевые структуры; 5 — район исследований

Fig. 1. Scheme of the lineaments deciphering of the northeast of the European Platform from space images (By: [6]). Lineaments: 1 — supra-regional, 2 — regional, 3 — local, 4 — ring structures; 5 — research area

знаков геодинамически нестабильных структур с привлечением уточняющих и корректирующих почвенно-биологических, ландшафтно-геохимических показателей состояния геологической среды. При этом начальным звеном исследований является морфометрический анализ рельефа.

Методические аспекты решения проблемы. В основе модели прогнозного геодинамического районирования трассы магистрального газопровода лежат представления о блочном строении литосферы, неотектонической природе современной активности литосферных блоков и их иерархической подчиненности [5]. Считается, что наиболее активными движениями отличаются структуры более высокого иерархического уровня, но максимальные концентрации геодинамических напряжений чаще приурочены к структурам самого низшего масштабного уровня, что делает актуальным их выявление. При прохождении газопровода по таким участкам возникает риск аварий геодинамической природы, который многократно возрастает при пересечении газопроводом зон сопряжения разнотипных геодинамически активных структур. В их пределах на линейных участках трубопровода возможны

аномальные проявления растягивающих напряжений, возникающих вследствие медленных вертикальных и/или субгоризонтальных перемещений почвенных масс. Предполагается, что для данных участков характерна относительно высокая повторяемость аварийных ситуаций.

Методика морфометрического анализа рельефа

Определение потенциально опасных зон вдоль газопровода осуществлялось на основе морфометрических исследований геодинамически активных зон в пределах линейной части магистрального газопровода путем выделения проблемных участков по степени расчлененности рельефа. В качестве ключевого участка выбрана линейная часть магистрального газопровода в пределах Вымско-Вишерского междуречья (Княжпогостский район, Республика Коми). Морфометрические исследования осуществлялись с помощью картометрии, предполагающей получение сведений о количественных характеристиках расчленения рельефа и составления карты вертикальной расчлененности рельефа, позволяющей определить направленность и относительную интенсивность новейших тектонических движений. Морфометрический анализ проводился с использованием топографической карты масштаба 1:100000 с сечением рельефа 20 м (основные горизонталы) и 10 м (дополнительные). Все поле карты было разделено на квадраты с длиной стороны 4 см и площадью 16 см². В каждом квадрате определялись значения наибольшей и наименьшей абсолютных высотных отметок. Амплитуда абсолютных высот вычислялась как разность между наибольшей и наименьшей абсолютными отметками в пределах квадрата. Значения амплитуд относились к центрам квадратов, между которыми методом интерполяции проводились изолинии. В результате проведенных исследований была составлена карта вертикальной расчлененности рельефа. Теоретически считается, что полученная таким образом вершинная поверхность адекватно отражает поверхность неотектонического рельефа [7, 10].

Результаты и их обсуждение

Сравнительная оценка степени расчлененности рельефа Вымско-Вишерского междуречья. В пределах исследуемой территории максимальная высотная отметка превышает 172 метра и приурочена к водоразделу в верховье реки Черная (Седью), являющейся левым притоком реки Весляны. Минимальная высотная отметка находится в долине Весляны, на крайнем западе рассматриваемой территории, и составляет около 80 метров. Значения амплитуд абсолютных высот рельефа изменяются от 3 до 51 м. Минимальные значения встречены в юго-восточной части на правом берегу р. Кычанью. Максимальные значения наблюдаются в долине реки Весляны, в районе её резкого поворота перед спрямленным участком в центральной части территории. Значительными амплитудами высот (более 30 метров) характеризуется практически вся территория вдоль долины Весляны, территория к востоку и северо-востоку от населенного пункта Синдор (до 39 м), а также участок, приуроченный к междуречью Лунвожа и Шервожа (более 40 метров). Небольшие амплитуды абсолютных высот (менее 20 метров) наблюдаются на междуречье Весляны и Кытловки, а также на территории,

Рис. 2. Карта-схема вертикальной расчлененности рельефа Вымско-Вишерского междуречья

I — морфоструктурные блоки: 1 — Трактковский, 2 — Синдорский; II — дополнительные обозначения: 3 — транспортный коридор магистрального трубопровода, 4 — линейменты

Fig. 2. Map-scheme of the vertical dismemberment of the Vymsko-Visherskiy interfluvium relief

I — morphostructural blocks: 1 — Traktovskiy, 2 — Sindorskiy; II — additional symbols: 3 — transport corridor of main pipelines, 4 — lineaments

расположенной к юго-западу от Синдорского озера (менее 10 метров). Следует отметить, что для участков со значительной вертикальной расчлененностью рельефа характерна повышенная густота речной сети.

В построенной таким образом цифровой карте рельефа геодинамически активные структуры представляют собой границы морфоструктурных блоков с контрастирующими показателями вершинной поверхности, с присущими только им геоэкологическими различиями и локальными проявлениями аномальных свойств и состоянием геологической среды. Таких морфоструктурных блоков с контрастирующими показателями вершинной поверхности в пределах ключевого участка выделено два — Трактский и Синдорский (рис. 2), для каждого из них характерна высокая степень расчлененности рельефа. Ниже дана их эколого-геологическая характеристика.

Трактский морфоструктурный блок. Зональный тип растительности — среднетаежные еловые леса. На междуречье много вырубок, лесовозобновление слабое. В почвенном покрове доминируют торфяно-подзолисто-глебовые иллювиально-гумусовые почвы с легким механическим составом (пески, супеси), подстилаемые моренными суглинками [3]. Для почв характерен активный про-

мывной режим. По климатическим характеристикам территория относится к умеренно-теплому району с пониженной годовой суммой активных температур (1200°C) и равномерным распределением годовой суммы осадков [1], скорость разложения растительных остатков (минерализация и гумификация) невелика. В почвогенезе ведущими являются подзолообразование и торфонакопление. Последнее активно сопровождается накоплением фульвокислот, нейтрализация которых осуществляется Fe и Al из состава почвенных минералов. В итоге в почвах возникают легкорастворимые фульваты металлов и создаются условия для кислого выщелачивания. Типоморфными элементами-индикаторами процесса являются H^{+} и Fe^{2+} , а также растворенное органическое вещество почв.

Синдорский морфоструктурный блок. Растительный покров образован елово-сосновыми среднетаежными лесами. Много вырубок, на которых первичные леса сменяются мелколиственным древостоем. Почвенный покров представлен торфянисто-подзолисто-глебоватыми почвами. На хорошо дренируемых участках развиваются небольшие ареалы глеево-сильноподзолистых почв. Эти почвы, подстилаемые моренными суглинками, имеют легкий механический состав и представлены преимуще-

щественно супесчано-песчанистыми разностями. Почвенно-грунтовые воды слабокислые, с pH 4.5–5.5, в них много железа и растворенного органического вещества.

Отличием данного района является наличие дерново-карбонатных почв, развивающихся на карбонатных моренных суглинках. Характерно карстообразование. В почву поступает много органических веществ, при этом в поглощающем комплексе часть водородных ионов нейтрализуется почвенными основаниями, поднимая pH в верхней части профиля до 6,5 [3]. В почвенно-грунтовых водах из катионов преобладают Ca^{2+} , а из анионов — HCO^- . Ион кальция — сильный коагулятор, поэтому в пределах развития карбонатных почвообразующих пород поверхностные воды чисты и прозрачны, поскольку содержат очень мало растворенного органического вещества.

Геодинамические условия на Тракте-Синдорском участке магистрального газопровода. Выше отмечалось, что литосфера характеризуется блоковым строением. Оно отчетливо отражается по рисунку разломных зон (часто хорошо дешифрируемых по линеаментам), которые являются границами блоков, разделяющих геоструктуры разного возраста, порядка и генезиса [9]. При этом разломы, контролируемые границы между блоками, могут с глубиной изменять угол падения (выполаживаться). Другими словами, границы блоков в верхней части земной коры в реальности не являются вертикальными. Существующая слоисто-блоковая модель [4], предусматривающая горизонтальную расслоенность и вертикальную раздробленность литосферы на тектонически самостоятельные блоки, допускает латеральное смещение пород при разгрузке напряжений геодинамически нестабильных геологических структур. Сопоставление современного структурного плана показало, что в различных геоблоках платформенного чехла Европейского Севера России степень унаследования неотектонической активности разная [9]. Следует заметить, что оба ключевых участка расположены в пределах Вымского мегаблока, который в настоящее время испытывает слабое опускание и которому в неотектоническом плане отвечает умеренное поднятие Среднетиманского мегавала [6, 9]. При этом Синдорский морфоструктурный блок расположен вблизи линии, разделяющей геоблоки, испытывающие разнонаправленное движение, что делает сейсмоопасным Синдорский участок магистрального газопровода. Подтверждением данного заключения служит аварийный разрыв газопровода в результате локального землетрясения силой 3.5 балла, произошедшего летом 2005 г. (устное сообщение сотрудника ИГ Коми НЦ УрО РАН В. В. Удоратина). Другой причиной сейсмического события может быть изменение напряжения горных пород, обусловленных карстовыми процессами [2]. Между тем Трактовский морфоструктурный блок в плане возможных сейсмических событий — более спокойный участок. Однако, учитывая высокую степень расчлененности рельефа и широкое распространение почв с активным промывным режимом, можно предполагать, что для данной территории вероятность возникновения аварий геодинамической природы во многом будет обусловлена солифлюкционными и суффозионными процессами. В результате возможно медленное смещение трубопро-

вода одновременно с почвенно-грунтовой массой по уклону местности. Такое осевое смещение трубопровода увеличивает напряжение трубного металла, что в итоге ведет к повреждению труб. Так, весной 2010 г. на Трактовской площади произошел разрыв газопровода, которому сопутствовало возгорание леса*. Годом ранее также было зафиксировано аналогичное аварийное событие (устное сообщение местного жителя), сопровождавшееся только выбросом газа.

Заключение

Выполнен морфометрический анализ рельефа юго-западного Притиманья на примере Вымско-Вишерского междуречья и выделены два морфоструктурных блока — Трактовский и Синдорский, для которых дана эколого-геологическая оценка устойчивости геологической среды. На Тракте-Синдорском участке магистрального газопровода дана оценка риска возникновения аварий геодинамической природы. Установлено, что для данного участка наличие геомеханических признаков геодинамической нестабильности геологических структур (проявление ползучести (крип), суффозии, солифлюкции, эрозии) выражено слабо.

С учетом положения Тракте-Синдорском участка магистрального газопровода по отношению к ближайшим крупным геодинамически активным системам установлено, что степень сейсмической уязвимости газопровода выше при его пересечении Синдорской площади, чем при Трактовской. Для Трактовского морфоструктурного блока риск возникновения аварийных ситуаций в большей степени связан с латеральным сдвигом почво-грунтов, вызванным активизацией геомеханических процессов (изменение механической прочности почвогрунтов при росте тиксотропности почв, изменении степени обводненности рыхлых подстилающих пород) при вырубке лесов, мелиоративных работах, карьерной эксплуатации месторождений общераспространенных полезных ископаемых.

Литература

1. Атлас Коми АССР. Москва: ГУГК ГГК СССР, 1964. 112 с.
2. Вагин В. А. Прогнозирование воздействия геоэкологических факторов на устойчивость магистральных газопроводов (на примере ООО «Севергазпром»): Автореф. ... дис. канд. техн. наук. Ухта, 2005. 20 с.
3. Забоева И. В. Почвы и земельные ресурсы Коми АССР. Сыктывкар, 1975. 343 с.
4. Запорожцева И. В., Пыстин А. М. Слоисто-блоковая модель дофанерозойской литосферы Европейского Севера России. СПб.: Наука, 1994. 112 с.
5. Пейве А. В. Избранные труды: Глубинные разломы и их роль в строении и развитии земной коры / Отв. ред. А. Л. Книппер, А. В. Лукьянов. М.: Наука, 1990. 352 с.
6. Рыжов И. Н. Неотектоника Европейского Севера СССР. Л.: Наука, 1988. 96 с.
7. Спиридонов А. И. Геоморфологическое картографирование. М.: Недра, 1975. 175 с.
8. Структура платформенного чехла Европейского Севера СССР / Под ред. В. А. Дедеева. Л.: Наука, 1982. 200 с.

* Событие зарегистрировано в www.ИАС «Лесные пожары».

9. Удоратин В. В. Глубинное строение и сейсмичность южных районов Республики Коми. Екатеринбург: УрО РАН, 2002. 71 с.

10. Философов В. П. Основы морфометрического метода поисков тектонических структур. Саратов: Изд-во Саратовск. ун-та, 1975. 230 с.

References

1. Atlas of Komi ASSR. Moscow, GUGK GKG SSSR, 1964, 112 pp.

2. Vagin V. A. *Prognostirovanie vozdeistvie geoeekologicheskikh faktorov na ustoichivost magistralnykh gazoprovodov (na primere OOO "Severgazprom")* (Prognosing of impact of geoeecological factors on stability of pipelines (example of Severgazprom): Extended abstract of PhD dissertation: Ukhta, 2005, 20 pp.

3. Zaboieva I. V. *Pochvy i zemelnye resursy Komi ASSR* (Soils and land resources of Komi ASSR). Syktyvkar, 1975, 343 pp.

4. Zaporozhtseva I. V., Pystin A. M. *Sloisto-blokovaya model dofanerozoiskoi litosfery Evropeiskogo Severa Rossii* (Laminated-block

model of Pre-Phanerozoic lithosphere of European North of Russia). St. Petersburg: Nauka, 1994, 112 pp.

5. Peive A. V. *Izbrannye trudy: Glubinnye razlomy i ih rol v stroenii i razviti zemnoi kory* (Selecta: Abyssal faults and their role in structure and development of earth crust). Ed. A. L. Knipper, A. V. Lukyanov, Moscow: Nauka, 1990, 352 pp.

6. Ryzhov I. N. *Neotektonika Evropeiskogo Severa SSSR* (Neotectonics of European North of the USSR). Leningrad: Nauka, 1988, 96 pp.

7. Spiridonov A. I. *Geomorfologicheskoe kartografirovanie* (Geomorphological mapping). Moscow: Nedra, 1975, 175 pp.

8. *Struktura platformennogo chehla Evropeiskogo Severa SSSR* (Structure of platform cover of European Northern USSR). Ed. V. A. Dedeev. Leningrad: Nauka, 1982, 200 pp.

9. Udoratin V. V. *Glubinnoe stroenie i seismichnost yuzhnykh raionov Respubliki Komi* (Abyssal structure and seismicity of southern areas of Komi Republic). Ekaterinburg: UB RAS, 2002, 71 pp.

10. Filosofov V. P. *Osnovy morfometricheskogo metoda poiskov tektonicheskikh struktur* (Basics of morphometric method of search for tectonic structures). Saratov: Saratov University, 1975, 230 pp.