

20. Свирижев Ю. М. Нелинейные волны, диссипативные структуры и катастрофы в экологии. М.: Наука, 1987. 368 с.

21. Соловьев В. С., Мироненко В. Г., Гребнева И. Н. Экологическая и социальная физиология человека в условиях северного города // Тр. Ин-та Природопользования (NDI). Вып. 1. Нижневартовск, 1995. С. 86-88.

22. Телицын В. Л., Телицына Е. В. Проблемы сбалансированного развития северных территорий (на примере Среднего Приобья) // Проблемы географии и экологии Западной Сибири. Вып. 3. Тюмень: Изд-во ТГУ, 1998.

23. Шварц С. С. Проблемы экологии человека // Новые идеи в географии. Вып. 4.: Географические аспекты экологии человека. М.: Прогресс, 1979. С. 25–39.

24. Щелкачев В. Н. Анализ разработки крупнейших нефтяных месторождений СНГ и США // Тр. ВНИИОЭНГ. М., 1994. 76 с.

*Александр Васильевич РАДЧЕНКО —  
главный геолог ОАО «Нефтегазпроект»*

УДК 504.06:622

## **РАНГОВАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ДИНАМИЧЕСКИ НАПРЯЖЕННЫХ ЗОН ЗЕМНОЙ КОРЫ И ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА НА ПЕРЕСЕЧЕНИЯХ С МАГИСТРАЛЬНЫМИ ТРУБОПРОВОДАМИ**

*АННОТАЦИЯ.* Рассматриваются проблемы экологического риска строительства и реконструкции нефтепроводов в зависимости от свойств геологической среды. Проведена классификация динамически напряженных зон земной коры и сопряженных с ней водотоков, как их индикаторов, параметров надежности магистральных нефтепроводов. Установлена зависимость экологического риска их эксплуатации от соотношения рангов надежности нефтепровода с рангами динамически напряженных зон при пересечениях.

*The problems of ecological risk of construction and reconstruction of oil pipelines are considered (depending on properties of geological environment). The classification of dynamically intense zones of earth's crust, waterflows classifications, their indicators and parameters of reliability of main oil pipelines are carried out. The dependence of ecological risk of their operation is established depending on a ratio of ranks of an oil pipeline reliability and dynamically intense zones at their crossings.*

Система магистральных нефтепроводов Западной Сибири создавалась в 1970–80 гг. и к настоящему времени характеризуется значительным износом. При ее реконструкции должны учитываться новые требования, которые не всегда соблюдались ранее. В первую очередь это относится к оценке экологического риска, того влияния, которое может быть оказано на природную и социальную среду в зоне прохождения трассы в результате аварий разной степени тяжести.

Причины аварийности нефтепроводов достаточно хорошо изучены. Среди них использование низкокачественных труб, строительный брак,

коррозия, неправильная эксплуатация и слабо учитываемые пока факторы внешней среды. Низкое качество труб и строительный брак обычно выявляются в первые годы эксплуатации, после чего аварийность снижается, но к концу гарантийного срока эксплуатации опять растет вследствие коррозии.

Традиционно проблема экологической безопасности магистральных трубопроводов изучалась как проблема их надежности, т. е. в сугубо технической плоскости. В среде лиц, принимающих решение в этой области, существовала и доминирует в настоящий момент уверенность в том, что экологический риск можно значительно уменьшить благодаря применению входного контроля качества труб, своевременному выявлению и устранению строительного брака, покрытию труб грунтовкой, устройству катодной защиты и др. техническим и организационным решениям.

Организационно-технические решения, несомненно, играют важнейшую роль в снижении аварийности. Так, согласно П. П. Бородавкину и Б. И. Кима средний параметр отказов магистральных трубопроводов США был равен 1,25 в год на 1000 км трассы при отсутствии катодной защиты и 0,63 в случае ее установки [1, с. 17]. Однако решения, принимаемые в одной лишь сфере, с течением времени характеризуются снижающейся эффективностью на единицу затрат и имеют предел, за которым становятся неэффективными. Достоверность прогноза аварийности можно существенно повысить на основе учета возможно более широкого спектра факторов, активно «готовящих» аварийные ситуации. Обратим внимание на те из них, которые уместно назвать геодинамическими.

В последней четверти XX века сформировалось новое научное направление — геодинамика. Его появление не случайно. В конце шестидесятых годов в публикациях обосновывалась концепция тектоники литосферных плит, которая объединила четыре моболистские гипотезы: дрейфа материков (Тейлор), погружения (вдавливания) литосферы под островные дуги (Венинд-Мейниз), разрастания дна океана в рифтовой трещине (Хесс), крупных горизонтальных скольжений краев плит по трансформным разломам (Вильсон). Согласно этим взглядам на поверхности нашей планеты перемещаются в объемных единых композициях сферические плиты литосферы [2].

Геодинамический подход привел к пересмотру всех фундаментальных основ классической геологии. Установлено, что Западно-Сибирская плита на рубеже палеозоя и мезозоя подверглась деструкции с образованием континентальной разветвленной рифтовой системы. Последующие процессы спрединга океанической плиты и рифтообразования заложили геодинамику фундамента плиты. Чем меньше перерыв во времени между возрастом структурных зон и началом формирования платформенного чехла, тем лучше структуры чехла наследуют особенности структурных зон фундамента [3].

Для складчатых структур эпигерцинской Западно-Сибирской плиты, формирование которых завершилось к концу палеозоя, импульс направленных тектонических движений сохранился на протяжении всего юрского, мелового и даже палеогенового периодов, а для структур грабен-рифтов, образовавшихся в раннем триасе, импульс направленных движений сохранился до настоящего времени.

Каждый тектонической цикл деформационно-напряженной активности формирует системы линеаментов (трещиноватости) определенной направленности. Авторы использовали линеаментный анализ, позволяющий на основе регистрации аномальных черт ландшафтной структуры, отражен-

ных на космофотоснимках, выявить структурно-динамические особенности не только отдельных блоков доюрского фундамента, но и чехла [4, 5, 6]. Комплексирование методов с инструментально-полевыми работами позволило объективно и с достаточно высокой точностью линеаментами выделять любые типы литосферных блоков и обрамляющие их динамически напряженные зоны (ДНЗ).

Для подтверждения существования относительных подвижек отдельных блоков или их систем в 80-х годах были заложены геодинамические полигоны на Салымском, Западно-Угутском и Усть-Балыкском нефтяных месторождениях. Программа работ предусматривала закладку пунктов нивелирования 1 класса, повторное нивелирование, гравимагнитные и сейсмические исследования. Были также разработаны основы тектоно-физической интерпретации результатов повторного нивелирования, что позволило получить более точные оценки параметров (глубин и размеров областей) современных деформационных процессов, формирующих локальные аномальные движения [4].

Локальные аномальные движения связаны с явлениями современного разупрочнения пород среды в краевых зонах геофизических полей. Количественные оценки относительных подвижек блоков фиксировали значительные величины и их «рывковую» (моментальную) реализацию. Величина таких подвижек на Западно-Угутском месторождении (полигоне) достигала  $\pm 70$  мм, а на Салымском месторождении (полигоне)  $\pm 36$  мм за шесть месяцев. В зонах таких подвижек отмечались также изменения во времени параметров сейсмического, гравитационного, геомагнитного, электрического и других физических полей, а также геохимических и гидрохимических параметров выделяющихся флюидов [7].

Элементы блочной системы земной коры находятся в состоянии динамического равновесия, испытывая флуктуации под действием сейсмических и акустических колебаний, обеспечивающих возможность перераспределения поступающей извне энергии между отдельными блоками горной породы. В этом процессе отдельные блоки могут терять устойчивость и менять свойства среды с изменениями взаимной конфигурации, скачкообразными взаимными перемещениями с нарушением целостности (трещины, разрывы). Это ведет к вариациям электрических и упругих свойств геологических систем. Не исключены также фазовые переходы, способные нарушать устойчивость либо единичных элементов, либо целых групп отдельностей. Эти изменения особенно активны в контактных зонах, фиксируемых на карте как линеамента, называемых обычно ДНЗ.

При исследовании обращалось внимание на решение трех групп задач:

- классификации геологических структур, залегающих на поверхности осадочного чехла;
- сопряженной классификации водотоков, использующих окаймляющие их ДНЗ в качестве прадолин;
- сопоставления параметров ранга надежности нефтепроводов с рангом ДНЗ.

В основу классификации геологических тел были положены объемно-массовый принцип, структурно-текстурная однородность, генезис и морфометрические параметры. Физические величины, отражающие объемность геотел и большие массы, приняты согласно утвержденных систем в науке и технике [8].

Классификация содержит 5 основных групп геологических тел с их контактными границами, каждая из которых имеет свои объемы, массы и

ранги ДНЗ. При этом мы исходим из представления, что литосфера состоит из упорядоченной системы иерархически построенных структурных уровней дискретных образований в виде уплотнений вещества (комков, глыб, массивов, блоков, плит) с разуплотненным контактным окружением, тесно взаимосвязанных между собой. Предпочтение отдано иерархическим группам, доступным для картографирования и значимым для оценки надежности трубопроводов. Характеристика групп (иерархических рангов) геологических тел и ДНЗ содержится в табл. 1.

В первую (микрлокальную) группу (1–8 ранги) входят малые объемы геологических пород одинакового состава и генезиса, границы которых сформированы экзогенными процессами на переходе сред литосфера-атмосфера за счет циклической деятельности воды, температуры и воздуха (ветра).

1 ранг соответствует объемам геологических тел, которые мы называем комками, менее 0,02 кубометра по осям и массой, не превышающей 0,04 тонны. Контактные границы между комками весьма незначительны (от 1 до 2 см). Они отображаются на планах масштаба 1:100.

2 ранг соответствует объемам геологических тел менее 0,5 кубометра по осям и массой, не превышающей 0,9 тонны. На поверхности равнинного рельефа границы таких малых тел, как и первого ранга, почти не просматриваются, особенно при наличии почвенно-растительного слоя, насыпных грунтов, техногенных нарушений и т. д. Но после непродолжительных обильных летних дождей на полянах, лужайках и террасовых лугах видны мелкие зигзагообразные полоски (ложбинки) поникшей примятой травы определенной направленности. Именно по ним, как по наклонным желобкам, устремляются струйки осадков в понижения других рангов.

3 рангу соответствуют микрообъемы до 1 кубометра и массой до 2 тонн. Границы таких тел просматриваются в виде отдельных фрагментов. Это могут быть дугообразные или зигзагообразные полоски краев высохших понижений мелких западин, остатки отдельных эрозионных бороздок, образованных водными струями атмосферных осадков на поверхности задернованных, сильно выположенных склонов водоразделов и террас, микротрещины (просадки или отрыва грунтов) вдоль крутых деформированных склонов и т. д. Линейные размеры этих фрагментов укладываются в пределах 1–2 м, при ширине 0,1–0,15 м и глубине до 0,3 м. Они могут картироваться на планах масштаба до 1:200. Частично (до 50%) эти фрагменты, как и фрагменты 2 ранга, совпадают с границами энергетической сетки Хартмана, особенно в узлах ее пересечений, которые выявляются биолокацией [9].

4 ранг — это макрообъемы до 25 м<sup>3</sup> и массой до 50 т. Их прерывистые, динамически напряженные границы визуально устанавливаются при детальном изучении поверхности рельефа. Они картируются на планах масштаба 1:500 и, как правило, прослеживаются вдоль контуров положительных или отрицательных микроформ рельефа, сглаженных (местами закругленных) постоянной циклической деятельностью воды, температуры и ветра. Это могут быть небольшие (длиной до 3–5 м и шириной 0,2–0,3 м) полосы, борозды, каскадные звенья мелких (0,05 м) углублений поверхностной эрозии грунтов, частично засыпанные пылеватым материалом минерального и органического состава.

5 ранг — небольшие глыбы объемом до 200 м<sup>3</sup> и весом до 0,4 килотонн однотипных по составу и генезису грунтов, узкие границы которых часто представлены мелкими углублениями извилистых эрозионных канавок, периодически засыпаемые пылеватым материалом, либо разуплотненными

(мелко трещиноватыми) системами грунтов. Эти эрозионные границы часто проявляются как пересыхающие русла временных потоков и ручейков. В пределах обрывистых берегов рек или крутых террасовых склонов это могут быть сползающие глыбы цирковидных оползневых форм, дугообразные трещины отрыва которых являются границами ДНЗ и измеряются единицами метров по фронту при ширине 0,3–0,5 м и глубине до 2 м. Такие границы могут отображаться на планах масштаба 1:500–1:1000.

*6 ранг* — средние глыбы объемом до 2000 м<sup>3</sup> и массой до 4 килотонн. Контактные границы таких геотел чаще всего на поверхности рельефа характеризуются извилистыми полосами и дугами в общем линейном направлении эрозионных или эрозионно-аккумулятивных процессов. Длина их варьирует до десятков метров при небольшой ширине (до 1–2 м). Это могут быть эрозионные борозды и рытвины, постоянные русла ручейков с расходом воды до 3 л/с, разделяющие гривки болотных массивов, а также начальные формы небольших оврагов. Вертикальные их границы иногда прослеживаются до глубин 2,5–3,0 м.

*7 ранг* — большие глыбы объемами до 13 тыс. м<sup>3</sup> и массой до 0,27 килотонн. Их контактные (разделяющие) границы соизмеримы с формами небольших оврагов, балок и руслами мелких ручьев, с расходом воды до 1 л/с. В понижениях рельефа границы зачастую проходят по их тальвегу. Линейные размеры ДНЗ по длине не превышают сотни метров, при ширине 2,0–3,0 м. Прослеживаемые контуры хорошо картируются на планшеты 1:5000 и 1:10000 масштабов.

*8 ранг* — очень большие глыбы относительно однородных по генезису геотел объемами до 100 тыс. м<sup>3</sup> и массой до 210 килотонн. Их контактные границы (ДНЗ) чаще всего проходят по контурам рельефа и соразмерны извилистым руслам средних ручьев с расходом воды до 10 л/сек. (долины 1-го порядка). Линейные размеры таких долин в преобладающем направлении не превышают 700 м, при ширине до 7 м. Вертикальные границы не превышают 10 м и устанавливаются геоморфологическими и геофизическими методами по преобладанию грунтов с большей пористостью и водонасыщением.

Вторую — локальную группу (9–11 ранги) составляют геологические тела условно однородного состава и генезиса с объемами от единиц до десятков миллионов кубометров и массой от единиц до сотен мегатонн. Их линейно-изогнутые периметры (горизонтальные границы ДНЗ) неправильных геометрических фигур достаточно хорошо фиксируются на поверхности рельефа и картируются на масштабах 1:5000–1:50000.

*9 ранг* включает системы небольших массивов близких по генезису грунтов. Их объемы не более 1,25 млн. м<sup>3</sup>, а массы варьируют в пределах 2,6–2,8 мегатонн. Контурные границы ДНЗ соразмерны с формами долин больших ручьев и малых речушек при расходе воды последних до 100 л/с (долины 2-го порядка). Длина границ в пределах 1000–1500 м при ширине до 20 м. Вертикальные составляющие границ разуплотненных и обводненных пород прослеживаются до глубин 15–20 м геологическими и геофизическими методами. Массивы и их контуры картируются на картах масштаба 1:10000–1:25000.

*10 ранг* — это массивы объемом до 7,5 млн. м<sup>3</sup> и массами до 15–16 мегатонн горных пород близких по генезису. Контактные границы таких массивов на поверхности рельефа представлены однотипными, обводненными и деформированными (разуплотненными) грунтами. Они соизмеримы также с линейными формами древних погребенных долин ручья-

ев и малых рек (долины 2-го порядка). На обширных заболоченных равнинах они проявляются небольшими понижениями в виде вытянутых полос торфяных болот, покрытых низкорослыми деревьями. Длина их однонаправленных границ ДНЗ в пределах 3–4 км при ширине до 50 м. Глубины напряженно-деформированных зон прослеживаются до 35–40 м.

*11 ранг* включает большие массивы объемами до 50 миллионов м<sup>3</sup> и массами до 110 мегатонн. Разделяющие их границы на поверхности рельефа соизмеримы с линейными формами малых речных долин, вместе с террасовыми комплексами и расходом воды до 50 м<sup>3</sup>/сек. (долины 3-го порядка). Длина до 5–7 км, при ширине 85–100 м. Вертикальные составляющие границ ДНЗ достигают 50–70 м.

Третью (региональную) группу (12–15 ранги) составляют геологические блоки с различными типами пород близких по генезису, с объемами от единиц до нескольких тысяч кубокилометров. Их линейные границы по вертикали многэтажны. Нижние этажи в границах ДНЗ большей частью представлены региональными, глубинными разломами, которые подтверждаются данными буровых и геофизических работ. В верхних этажах границы слагаются трещиноватыми и разуплотненными грунтами, частично привнесенными из соседних блоков и массивов [5]. Отображаются границы ДНЗ на картах масштабах 1:50000–1:500000

*12 ранг* включает микроблоки объемами 2–2,5 км<sup>3</sup> и массами до 5,5 гигатонн разнообразных грунтов близких по генезису. Контактные границы таких блоков представлены деформированными (разуплотненными или, в нижних этажах, трещиноватыми) породами и грунтами. На поверхности рельефа они соизмеримы с линейными формами долин рек с односторонними террасовыми комплексами и расходом воды до 500 м<sup>3</sup>/сек. (долины 4-го порядка). Длина границ ДНЗ одного направления в пределах 10 км, при ширине до 1000 м. Вертикальные составляющие границ ДНЗ фиксируются на глубинах 100–150 м и могут иметь двухэтажное строение.

*13 ранг* — это миниблоки объемами до 25 км<sup>3</sup> и массами до 55–60 гигатонн разнообразных грунтов и пород, близких по генезису. Их контактные границы на поверхности рельефа соизмеримы с линейными формами речных долин равнинных рек с двухсторонними террасовыми комплексами и расходами воды до 1500 м<sup>3</sup>/сек. [10]. Длина участков ДНЗ одного направления в пределах 15–20 км, при ширине деформированной зоны 1,3–1,7 км. Вертикальные границы ДНЗ фиксируются на глубинах до 250 м.

*14 ранг* включает мезаблоки грунтов и горных пород однотипного исходного генезиса с объемами до 315 км<sup>3</sup> и массами 662–725 гигатонн. Их контактные границы ДНЗ на поверхности рельефа соизмеримы с формами речных долин с террасовыми комплексами из обоюдосторонних пойм и 2-х–3-х высоких террас. Осредненные расходы воды таких рек могут достигать 2000–2500 м<sup>3</sup>/сек. (долины 5-го порядка). Длина участков ДНЗ одного направления может достигать 25–35 км при ширине 1,5–2,5 км. Вертикальные границы ДНЗ опускаются до глубин 500–700 м, имея многэтажное строение.

*15 ранг* включает макроблоки объемами до 2500 км<sup>3</sup> и массами до 5 тетратонн. Их границы на поверхности соизмеримы с долинами больших равнинных рек с несколькими двухсторонними террасами и расходом воды до 10 тыс. м<sup>3</sup>/сек. (долины 6-го порядка). Длина контактных границ ДНЗ с соседними блоками в пределах 45–50 км, при ширине до 5 км. Глубины вертикальных составляющих достигают 1,5 км, при этом ДНЗ имеют многэтажное строение. Нижние этажи макроблоков представлены различными

формами разновозрастных региональных разломов, заполненных терригенным материалом разнотипных пород. Верхние этажи сформированы разуплотненными, деформированными и обводненными породами и грунтами кайнозойского возраста, близкими по генезису [5].

Четвертую (трансрегиональную) группу (16–17 ранги) составляют мегаблоки и гиперблоки с объемами от 20 до 200 тысяч км<sup>3</sup> и массами до 0,5 петатонн. Их контактные горизонтальные границы ДНЗ нижних этажей представляют собой погребенные борта глубинных разломов и грабен-рифтов протяженностью в несколько сот километров. Средняя плотность пород этой группы (за счет нижних этажей) в пределах 2,2–2,5 т/м<sup>3</sup>. На поверхности рельефа, в общем ансамбле геоструктур меньшего ранга, они проявляются положительными или отрицательными формами определенной направленности при разносортном составе грунтов.

16 ранг составляют мегаблоки объемами до 30 тыс. км<sup>3</sup> и массами до 45–65 тетратонн. Поверхностные границы ДНЗ мегаблоков соизмеримы с долинными комплексами крупных рек, расходы которых достигают 50 тыс. м<sup>3</sup>/сек. (долины 7-го порядка). Длина границ ДНЗ одного направления достигает 100 км, при ширине 5–10 км. Глубины вертикальных границ ДНЗ достигают 2 км, при многоэтажном строении.

17 ранг включает гиперблоки объемами до 320 тыс. км<sup>3</sup> и массами до 0,7 петатонн. Окаймляющие границы гиперблоков соизмеримы с долинными комплексами крупнейших рек мира типа Конго, Амазонки (8-й порядок речных долин). Расход последней превышает 200 тыс м<sup>3</sup>/сек. [11]. Длина границ ДНЗ по поверхности рельефа в пределах одного направления достигает 200–250 км, при ширине (активной зоны, разуплотненных, деформированных грунтов) до 15–25 км. Вертикальные глубины имеют несколько этажей, в пределах 2,5–3 км.

Пятую глобальную группу (18–20 ранги) составляют геологические плиты, платформы, континенты и суперконтиненты с их дивергентными, конвергентными и трансформными границами. Трансформные границы соединяют различные участки дивергентных (расходящихся) и конвергентных (сходящихся) краев плит. Поэтому любая плита в каждый момент времени полностью оконтурена границами всех трех видов. Объединение нескольких крупных плит составляет платформы или континенты. В редких случаях — суперконтиненты, такие как Евразийский или Североамериканский. Несколько десятков мелких плит составляют системы двух планетарных поясов сжатия литосферы: Альпийско-Гималайского и Циркум-Тихоокеанского. На границах плит, входящих в состав этих поясов, преобладает сжатие или скольжение со сжатием. Именно здесь происходит абсолютное большинство тектонических процессов, которые формируют молодые (и трансформируют прежние) рифты, грабен-рифты и разломы различных порядков [2, 3, 5].

Если рассматривать плиты не как геометрические формы объемов литосферы, а как осадочные бассейны, то их формирование до настоящего облика включает несколько стадий развития. Установлено [2], что обычно, при переходе от одной стадии к другой на место прежнего осадочного бассейна накладывается новый, иного тектонического типа, со своими особенностями структуры, составом, термобарическими условиями и т. д. Бассейны предшествующих стадий оказываются погребенными, а иногда полностью или частично преобразованными вплоть до разрушения. Вертикальное наложение и (или) латеральное сопряжение осадочных бассейнов (или их частей), отвечающих последовательным стадиям эволюции, приводят к фор-

мированию результирующего осадочного бассейна со своим более сложным геологическим строением. В разрезе таких обновленных бассейнов реликты разнообразных бассейнов предшествующих стадий образуют самостоятельные структурные этажи; кроме того, они могут участвовать в строении фундамента бассейна или его обрамления.

В этажности этих обрамлений снизу вверх наблюдается постепенная трансформация от грабен-рифтов и разломов до складчатых деформаций и простого разуплотнения пород. Поэтому на поверхности рельефа в обликах ДНЗ таких суперструктур отражается только малая часть энергии, полученной в недрах земли. Другая, большая ее часть поглощается при формировании структур нижних этажей. Объемы геоструктур пятой глобальной группы измеряются миллионами кубокилометров, а массы от 1,5 петатонн ( $1,5 \times 10^{15}$ ) — до 2-х гексатонн ( $2 \times 10^{18}$  тонн). Параметры контактных границ на порядок больше границ других групп и измеряются сотнями и тысячами километров по длине. Ширина их колеблется от десятков до сотен километров. Глубины фиксируются только геофизическими методами и достигают десятков километров.

*18 ранг* соответствует геологическим плитам с объемами до 2,5 млн. км<sup>3</sup> и массами 5,7 петатонн. Их поверхностные границы по длине превышают многие сотни километров, при ширине 25—45 км. Нижние границы вертикальных составляющих представляют собой грабен-рифты древних эпох и залегают на глубинах 10—20 км. Последующие, вышележащие этажи, выполнены терригенными трещиноватыми породами, различными по составу и генезису. При выходе на поверхность рельефа эти границы в зависимости от их типа сочленения могут быть представлены либо перемятыми породами при сильной дислокации, либо породами и грунтами повышенной трещиноватости и пористости.

*19 ранг* включает платформы и континенты с объемами от 15 до 170 миллионов кубокилометров и массами до 150—450 петатонн. Их поверхностные сопряженные границы ДНЗ по длине главного направления достигают 2—2,5 тыс. км, при ширине 150—250 км. Глубины вертикальных границ фиксируются геофизиками вплоть до поверхности Мохоровичича, достигают 15—25 км под океанами и 35—50 км в пределах горных образований. Сложены они разнообразными комплексами пород, но, как правило, всегда отличаются от основообразующих пород, сформировавших платформы или континенты.

*20 ранг* включает суперконтиненты с объемами до млрд. км<sup>3</sup> и массами в десятки эксатонн. Границы их по длине достигают до 5—7 тыс. км. Ширина несколько сотен км. По вертикальной составляющей они, как и 13—19-й ранги, многоэтажны, с разнообразными комплексами пород и уходят на глубину до поверхности Мохоровичича.

Порядок речных долин определяется действием как минимум двух факторов: геоморфологическим и гидроэнергетическим. Геоморфологический фактор мы рассматриваем как производный от уже описанной геодинамики. Энергетика водотоков описывается формулой:

$$H_v = \Delta V^2 / 2g ,$$

где  $H_v$  — энергия потока жидкости объемом  $DD$ , движущегося со скоростью  $V$ , отнесенная к двойному ускорению свободного падения тел.

Классификация водотоков дается применительно к равнинным рекам с приблизительно одинаковой скоростью течения ( $V \div 0,2-0,3$  м/сек.). При  $V = \text{const.}$  энергетика будет определяться исключительно объемом переноса



симой жидкости. Таким образом мы получаем зависимость энергии рек от осредненного единичного расхода воды. Классификации рек по энергетике, предложенная автором, и порядки долин по В. П. Философову (12), приведены в табл. 1.

Классификация рек необходима как индикатор порядка ДНЗ для последующих расчетов их энергетического влияния на трубопроводы. Так, учитывается, что реки, обладающие небольшим запасом энергии, размывают геологические тела мелких порядков, но не способны размывать тела более высоких порядков. Поэтому конфигурация их русел находится в пределах контуров ДНЗ более высоких порядков. Эта закономерность прослеживается на разных уровнях иерархии, в связи с чем мы можем объединить две классификации в одной таблице.

Одним из главных достоинств таблицы является возможность расчетов схемы взаимодействия рангов ДНЗ с надежностью трубопроводов. Последняя связана с техническими параметрами труб, их согласованной способностью выдерживать долговременные рабочие нагрузки в условиях напряженно-консолидированного состояния грунтов. Среди этих нагрузок выделяем напряжения, связанные с горизонтальными растяжениями и вертикальными смещениями, вызванные геодинамикой. Расчеты подтверждают, что подобно классу энергии рек, консолидированные и динамические напряжения, оказываемые на трубы, определенным образом упорядочены и зависят от ранга ДНЗ. Динамика геоструктур мелких порядков оказывает слабое влияние на магистральные трубопроводы. Это означает, что вызываемые ими незначительные горизонтальные растяжения и вертикальные смещения свободно выдерживаются структурными связями металла труб и другими, заложенными в них техническими параметрами.

Иное происходит при совпадении технических параметров трубопровода с рангом ДНЗ. Здесь горизонтальные растяжения и вертикальные смещения находятся на пределе прочностных характеристик металла и других параметров трубопровода. Циклы периодических горизонтальных растяжений, сжатий, вертикальных смещений приводят к существенному ослаблению прочностных характеристик труб и развитию в них коррозионных процессов. Именно здесь наблюдается наиболее частая повторяемость аварий, вызываемая усталостью металла. Ввиду этого гарантийные сроки работы трубопроводов на участках ДНЗ совпадающих рангов должны быть пересмотрены в сторону сокращения. На данных участках ДНЗ целесообразно установить повышенный контроль состояния труб.

Если параметры надежности трубопровода ниже ранга ДНЗ, то в местах их пересечений резко повышается вероятность прямых механических разрывов трубы или усталость металла наступает гораздо быстрее. В таких случаях необходима разработка специальных технических мероприятий и решений с целью повышения надежности трубопровода до ранга ДНЗ.

Надежность функционирующих в настоящее время в Западной Сибири магистральных трубопроводов оценивается автором применительно к ДНЗ в промежутке от 8 до 14 ранга. На переходах крупных рек (Иртыш, Обь), благодаря использованию специальных мероприятий, их надежность повышается до 16 ранга. К сожалению, подобные мероприятия не всегда применяются на переходах менее крупных рек, в результате чего ранг надежности оказывается ниже или равным рангу ДНЗ. Именно в этих местах статистически установлена более высокая аварийность, которой до сих пор не было найдено удовлетворительного объяснения.

Ранговая классификация геологических тел, динамически напряженных зон (ДНЗ) и их индикаторов  
в виде соответствующего энергетического класса рек

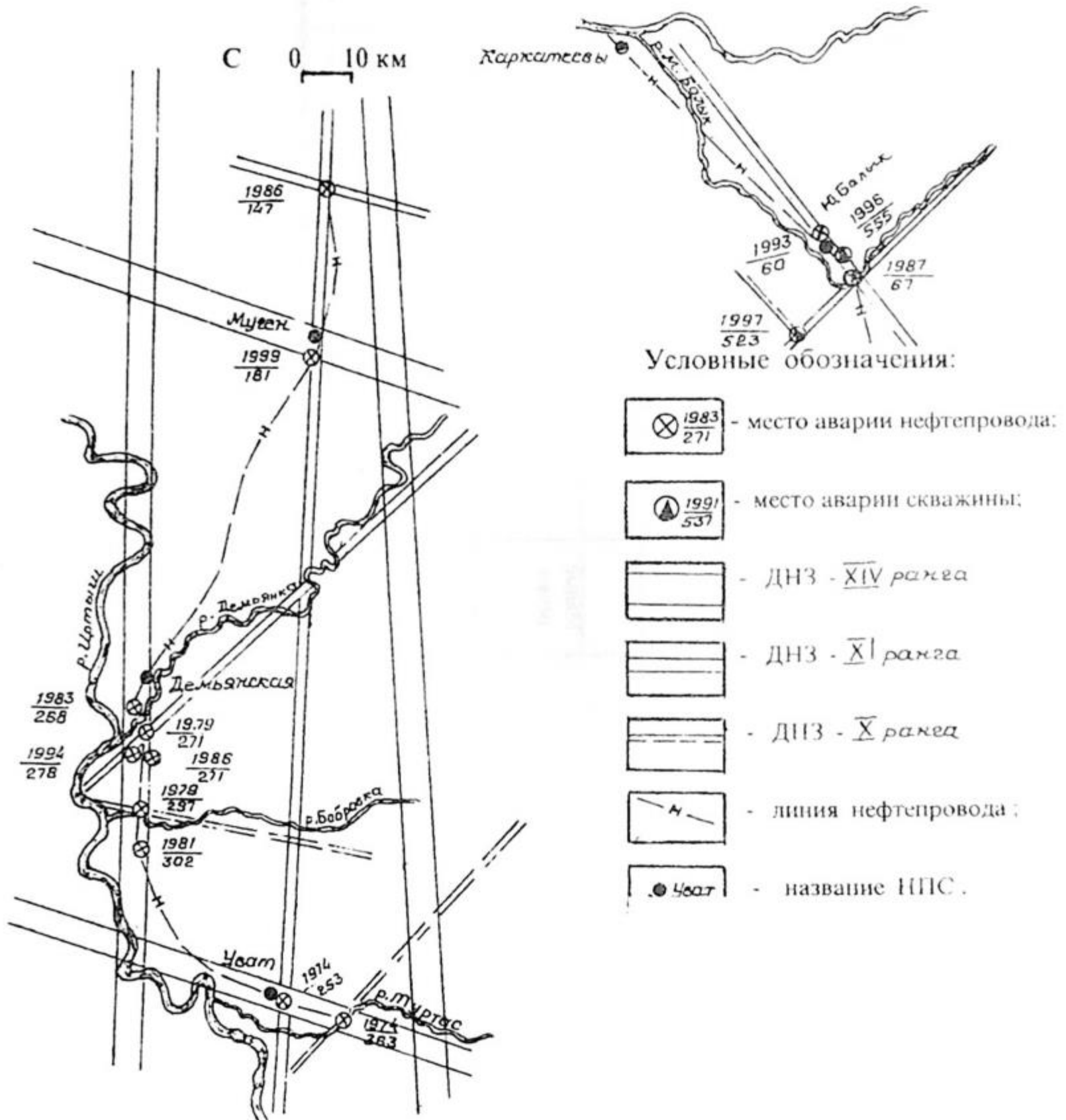
Таблица 1

Характеристика геологических тел					Группа ДНЗ	Ранг ДНЗ	Масштаб карт	Шкала Рихтера (баллы)	Гидросистемы	Порядок долин	Энергетический класс водотоков (рек)	Примечание	Средний расход воды (м <sup>3</sup> /сек)	Энергия напора (дж.) при скорости течения						
Ранг	Объем м <sup>3</sup>	Масса т.	Размеры блоков км.											0,2 м/сек	0,5 м/сек					
			длина	ширина																
Суперконтинент	$>1,2 \cdot 10^{18}$	$1,2 \cdot 10^{18}$			Глобальная	20	-	12	Водные артерии	8										
Континент	$156 \cdot 10^{15}$	$437 \cdot 10^{15}$				19	1:50000000	11								17	Амазонка	>200000	>400000	>2500000
Плита	$2,5 \cdot 10^{15}$	$6,5 \cdot 10^{15}$				18	1:25000000	10								16		100000	200000	>1250000
Гиперблок	$312 \cdot 10^{12}$	$780 \cdot 10^{12}$			Трансрегиональная	17	1:10000000	9	Крупнейшие реки	7		Конго	50000	100000	< 700000					
Мегаблок	$30 \cdot 10^{12}$	$75 \cdot 10^{12}$				16	1:5000000	8					14		25000	50000	< 350000			
Макроблок	$2,5 \cdot 10^{12}$	$6 \cdot 10^{12}$				15	1:2500000	7					13	Обь	12500	25000	< 160000			
Мезаблок	$312 \cdot 10^9$	$750 \cdot 10^9$	80-190	50-150	Региональная	14	1:1000000	6	Крупные реки	6			6000	12000	< 80000					
Миниблок	$25 \cdot 10^9$	$58 \cdot 10^9$	30-110	17-68		13	1:500000	5					11	Иртыш	3000	6000	< 40000			
Микроблок	$2,5 \cdot 10^9$	$5,4 \cdot 10^9$	29-76	16,5-43		12	1:200000	4,5					Большие реки	5	10	1500	3000	< 20000		

Супер-массив	50·10 <sup>6</sup>	110·10 <sup>6</sup>	16-35	10,5-21	Ло-каль-ная	11	1:100000	4			9	Ишим	750	1500	< 10000
Мак-ромас-сив	7,5·10 <sup>6</sup>	15,7·10 <sup>6</sup>	5-16	3-10		10	1:50000	3,5	Средние реки	4	8		300	600	< 4000
Ми-нимас-сив	1,25·10 <sup>6</sup>	2,6·10 <sup>6</sup>	1,9-5	0,3-2,5		9	1:25000	3			7	Тавда	150	300	< 2000
Супер-глыба	100·10 <sup>3</sup>	210·10 <sup>3</sup>	0,9-1,8	0,1-0,3	Мик-роло-каль-ная	8	1:10000	2,5	Реки	3	6		75	150	< 1000
Больш. глыба	12,5·10 <sup>3</sup>	26,3·10 <sup>3</sup>	0,4-0,9	0,08-0,1		7	1:5000	2,			5	Пышма	30	60	< 400
Средн. глыба	1,9·10 <sup>3</sup>	3,9·10 <sup>3</sup>	0,2-0,4	0,04-0,08		6	1:2000	1,5	Малые речки	2	4		15	30	< 200
Малая глыба	0,2·10 <sup>3</sup>	0,42·10 <sup>3</sup>	0,1-0,2	0,02-0,04		5	1:1000	1			3	7	14	< 100	
Отвал	20	42				4	1:500				1	2	3	6	< 40
Больш. ком	1,0	2,1				3	1:200			1	1	2	< 20		
Средн. комок	0,35	0,72				2	1:100								
Комок	0,02	0,04			1	1:50									

## СХЕМА

совпадения мест аварий, происходивших в 1974–1997 гг.,  
нефтепровода УБО и разведочно-промысловых скважин  
Майского месторождения  
в пределах выделенных границ ДНЗ различных рангов



## ПРИМЕЧАНИЯ:

1. Числитель — год аварии/знаменатель — км трубопровода;
2. Числитель — год аварии/знаменатель — номер скважины.

Рис. 1

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бородавкин П. П., Ким Б. И. Охрана окружающей среды при строительстве и эксплуатации магистральных трубопроводов. М.: Недра, 1981. 160 с.
2. Кучерук Е. В., Алиева Е. Р. Тектоника плит и нефтегазоносность. Т. 8. М., 1985. 200 с.
3. Гаврилов В. П., Федоровский Ю. Ф., Тропов Ю. А. и др. Геодинамика и нефтегазоносность Арктики. М.: Недра, 1993. 322 с.
4. Сидоров В. А. и др. Геодинамические исследования современных движений поверхности методом повторного нивелирования на Салымском нефтяном месторождении. М., 1998. 78 с.
5. Материалы по четвертичной геологии. М., 1961. 288 с.
6. Кац Я. Г., Полетаев А. И., Румянцева Э. Ф. Основы линеаментной тектоники. М.: Недра, 1986. 144 с.
7. Мартынов О. С. Геодинамические напряженные зоны. Правобережная часть Приобского месторождения нефти. Тюмень, 1998. 14 с.
8. Власов А. Д., Мурин Б. П. Единицы физических величин в науке и технике. Справочник. М.: Энергоатомиздат, 1990. 176 с.
9. Осипов В. А., Радченко А. В. Влияние геопатогенных зон на уровни естественного радиационного фонового излучения // Проблемы развития атомной энергетики и радиационной безопасности населения регионов Урала и Западной Сибири. Тюмень: Изд-во ТГУ, 1998. С. 54 – 56.
10. Калинин В. М., Ларин С. И., Романова И. М. Малые реки в условиях антропогенного воздействия. Тюмень: Изд-во ТГУ, 1998. 219 с.
11. Географический энциклопедический словарь. М.: Советская Энциклопедия, 1988. 432 с.
12. Чеменков Ю. Ф., Ганешин Г. С. и др. Методическое руководство по геоморфологическим исследованиям. Л.: Недра, 1972. 384 с.

*Ильдар Рустамович ИДРИСОВ –  
аспирант кафедры  
социально-экономической географии  
и природопользования  
эколого-географического факультета,  
Игорь Владимирович МИНЯЙЛО –  
инженер ОАО «Нефтегазпроект»,  
Сергей Сергеевич РАЦЕН –  
инженер ОАО «Нефтегазпроект»*

УДК 911.2

## **ЭКОЛОГИЗАЦИЯ РЕКОНСТРУКЦИИ МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕПРОВОДОВ**

**АННОТАЦИЯ.** В статье рассматриваются основные пути повышения экологической безопасности магистральных нефтепроводов. Выделяются основные направления экологизации, объективизации оценки воздействия на окружающую природную среду и оптимизации проектных решений.

*The article presents the main ways which are sure to increase the ecological safety of the oil pipelines. The chief tendencies of ecological safety, optimisation of the environment and possible projects are distinguished.*