

ТРАНСПОРТНЫЕ И ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ СТРАНЫ, ЕЕ РЕГИОНОВ И ГОРОДОВ, ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА НА ТРАНСПОРТЕ / TRANSPORT AND TRANSPORT-TECHNOLOGICAL SYSTEMS OF THE COUNTRY, ITS REGIONS AND CITIES, ORGANIZATION OF PRODUCTION IN TRANSPORT

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.140.92>

О ДЕФОРМАЦИИ ДНА РЕКИ ЛЕНА ПО ГИДРОПОСТУ С. ТАБАГА

Научная статья

Корнилова З.Г.^{1,*}, Аммосов Г.С.², Иванов Д.С.³, Корнилова В.В.⁴

²ORCID : 0000-0002-1098-6024;

^{1, 2, 3, 4} Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН, Якутск, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (zoya_korn[at]mail.ru)

Аннотация

В транспортной системе страны подводные переходы магистральных трубопроводов занимают особое место. Большинство ППМТ возведены открытым способом с укладкой в подводную траншею (в единичных случаях – по дну). Прокладка переходов через водные преграды этим традиционным способом связана с разработкой значительных объемов грунта, зависит от природно-климатических условий и требует дополнительных материалов на балластировку трубы, что приводит к значительному удорожанию строительства. Защита ППМТ от воздействия негативных русловых процессов при их эксплуатации имеет огромное значение. Русловые деформации – это деформации микро-, мезо- и макроформ, возникающие под гидродинамическим действием текущей воды. Это приводит к возникновению напряжений в стенке трубы, возрастанию их уровня.

Высокие значения деформаций размыва и намыва дна реки Лена на профиле гидропоста Табага связаны с изменчивостью гидрологических и гидроморфологических русловых процессов, а также с переформированием микро- и мезоформ в русловой части реки.

В статье показана методика определения деформации дна реки по г/п с. Табага, позволяющая за определенный промежуток времени анализировать уровни размыва и намыва дна реки по одной линии данного створа и установить особенности их проявления.

Ключевые слова: деформация дна, микро-, макро- и мезоформы, подводный переход, русловый процесс, размыв, намыв, профиль дна.

ON THE DEFORMATION OF THE LENA RIVER BED ACCORDING TO THE GAUGING STATION FROM TABAGA VILLAGE

Research article

Kornilova Z.G.^{1,*}, Ammosov G.S.², Ivanov D.S.³, Kornilova V.V.⁴

²ORCID : 0000-0002-1098-6024;

^{1, 2, 3, 4} V.P. Larionov Institute of the Physical-Technical Problems of the North of the Siberian Branch of the RAS, Yakutsk, Russian Federation

* Corresponding author (zoya_korn[at]mail.ru)

Abstract

Subsea crossings of trunk pipelines occupy a special place in the country's transport system. Most of the subsea pipeline crossings are constructed by open cut method with laying in an underwater trench (in isolated cases – on the bed). Laying water crossings by this traditional method involves the excavation of significant volumes of soil, depends on natural and climatic conditions and requires additional materials for pipe ballasting, which leads to a significant increase in construction costs. Protecting SCTR from the impact of negative channel processes during their operation is of paramount importance. Channel deformations are deformations of micro-, meso- and macroforms that occur under the hydrodynamic action of flowing water. This leads to stresses in the pipe wall, increasing their level.

High values of erosion and bulking deformations of the Lena River bed on the profile of the Tabaga gauging station are associated with the variability of hydrological and hydromorphological channel processes, as well as with the reformation of micro- and mesoforms in the river channel part.

The article demonstrates the methodology for determining the river bed deformation along the s/c of Tabaga village, allowing for a certain period of time to analyse the levels of erosion and bulking of the river bed along one line of the site and to establish the specifics of their manifestation.

Keywords: bed deformation, micro-, macro- and mesoforms, underwater transition, channel process, erosion, bulking, bed profile.

Введение

Магистральные трубопроводы, проложенные на территории Республики Саха (Якутия), эксплуатируются в области распространения многолетнемерзлых грунтов. Экстремальные климатические и инженерно-геологические условия, характеризуются низкими температурами воздуха, высоким уровнем грунтовых вод, заболоченностью и заторфованностью грунтов, глубоким сезонным промерзанием на участках локальных поднятий и подтоплением территорий во время весеннего и осеннего паводков [1], [2].

В таких условиях эксплуатационная надежность трубопровода определяется преимущественно способностью его конструкции сопротивляться разрушающей динамике геологической среды, которая выражается в неблагоприятной последовательности гидрогеологических и геокриологических процессов, повторяющихся ежегодно.

Размыв русла реки под трубопроводом может привести к его просадке, а впоследствии – к отказу. При проектировании подводных переходов через реки необходимо оценивать величины деформаций речных русел [3], [4].

Взаимодействие подводного перехода с русловыми процессами учитывают при проектировании и эксплуатации. В норме подводный переход трубопровода не должен оголяться, но в реальных условиях трубопровод оказывается оголенным, что обусловлено нарушениями требований проекта, или ошибками прогноза деформаций русла [5].

Русловые деформации – это деформации микро-, мезо- и макроформ, возникающие под гидродинамическим действием текущей воды [6], [7].

Микроформы – это мелкие массовые песчаные гряды, обычно покрывающие все дно естественных потоков и каналов, не вызывающие собой общего морфологического строения русла и воспринимаемые как его шероховатость. Размеры микроформ соизмеримы с местной глубиной потока. Строение их тесно и взаимно связано с макротурбулентностью потока [6], [7]. Микроформы достаточно подвижны и характеризуют сезонные русловые деформации дна рек. Мезоформы – это крупные грядообразные песчаные скопления, по своим размерам соизмеримые с шириной русла и определяющие его основное морфологическое строение. Подобно тому, как микроформы связаны с русловой макротурбулентностью, мезоформы взаимно связаны с общим строением скоростного поля потока, с его вторичными течениями, и их образование связано с неустановившимся характером речного потока [6], [7].

На следующем структурном уровне, на уровне макроформ, русловой процесс рассматривается в наиболее полном его выражении, охватывающем и русло, и пойму. Типом макроформы определяется русловой процесс реки в целом, ее морфологический тип. Примером макроформы может служить речная излучина с прилегающим пойменным массивом, образовавшимся в результате плановых перемещений меандрирующего русла [6], [7].

Определение деформаций русла в районе подводного трубопровода через р. Лена является одним из наиболее важных элементов гидравлических исследований. От деформаций русла зависят не только изменения характеристик потока, которые должны быть учтены в проектировании, но, и непосредственно, сохранность и надежность подводного трубопровода. Одним из серьезных гидрологических процессов по течению реки Лена является смещение массивов подвижных песков, значительно влияющих на характер ледохода и весенние паводки. В этом плане морфология русла р. Лена на участке Табага-Кангалассы очень динамична, так как русло р. Лены на этом участке относится к слабоустойчивому или неустойчивому типу. Ложе реки сложено песчаными грунтами, поэтому подвергается сильной деформации [8], [9].

Федеральным государственным бюджетным управлением «Якутское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» («ЯУГМС») для определения расхода воды определяется площадь поперечного сечения потока воды и его скорость. Следовательно, измеряется профиль дна и глубина русла реки. По полученным данным изменения профиля дна за определенный период времени можно определить деформацию дна реки. Профилирование дна реки Лена производилось в четырех местах (гидропостах), в том числе с. Табага. А также по имеющимся архивным данным определяют деформацию дна реки по одной и той же линии этих створов.

Оценка деформации дна и береговых откосов нами производилась по данным измерений профиля дна за предыдущее и за последующее время. При этом за первоначальное значение профиля дна принимается предыдущее значение ($H_{пр}$) профиля, а за конечное – последующее значение ($H_{посл}$) профиля дна реки. Все данные профилей дна реки рассматриваются по балтийской системе (БС). При этом значение уровня деформации дна характеризует ΔH_i , получаемая из выражения

$$\Delta H_i = H_{прi} - H_{послi} \quad (1)$$

где: i – последовательное число измерений поверхности дна реки по данному профилю створа гидропоста.

В статье рассмотрены деформации дна р. Лена по профилю гидропоста (г/п) Табага за более короткий осенний промежуток времени в затормозном 2010 году.

Материалы и методы исследования

За период с 9 сентября по 12 октября 2010 года ширина межени на г/п Табага уменьшилась на 64 м, особенно со стороны левого берега. Вследствие этого глубина межени по профилю дна реки местами также уменьшилась максимально в пределах от 1,75 до 3,75 м и, соответственно, за этот период расход воды снизился от 13000 (09.09.2010 г.) до 6675 (12.10.2010 г.) м³/сек, т.е. на 6325 м³/сек. Характеры изменений глубины межени (рис. 1) и профилей дна реки (рис. 2) на данном створе показывают, что со стороны правого берега реки в основном преобладают размыв дна, а со стороны левого берега – намыв. Такой процесс динамики деформации дна реки рассмотрим более подробно.

Для оценки характера течения оцениваем число Рейнольдса при минимальном расходе воды. С увеличением расхода число Рейнольдса также увеличится. Минимальный расход воды $Q = 6675$ м³/с был зарегистрирован 12.10.2010.

Из рис. 1 для даты 12.10.2010 вычисляем площадь поперечного сечения реки $A = 9847$ м² и смоченный периметр $P = 2101$ м. Гидравлический диаметр $D = A/P = 4,69$ м. Средняя скорость потока $u = Q/A = 0,68$ м/с. Кинематическая вязкость воды при температуре 10°С $\nu = 1,3 \cdot 10^{-6}$ м²/с. Число Рейнольдса $Re = uD/\nu = 2,4 \cdot 10^6$.

Полученное значение оказалось на порядок выше критического числа ($Re_{кр} = 3,5 \cdot 10^5$), что указывает на турбулентный характер течения, приводящий к деформации дна.

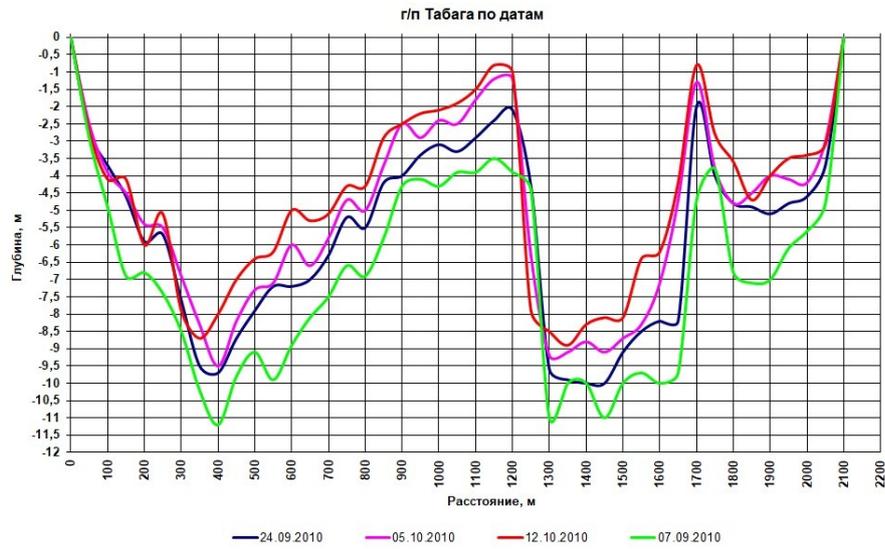


Рисунок 1 - Изменение глубины в межени
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.140.92.1>

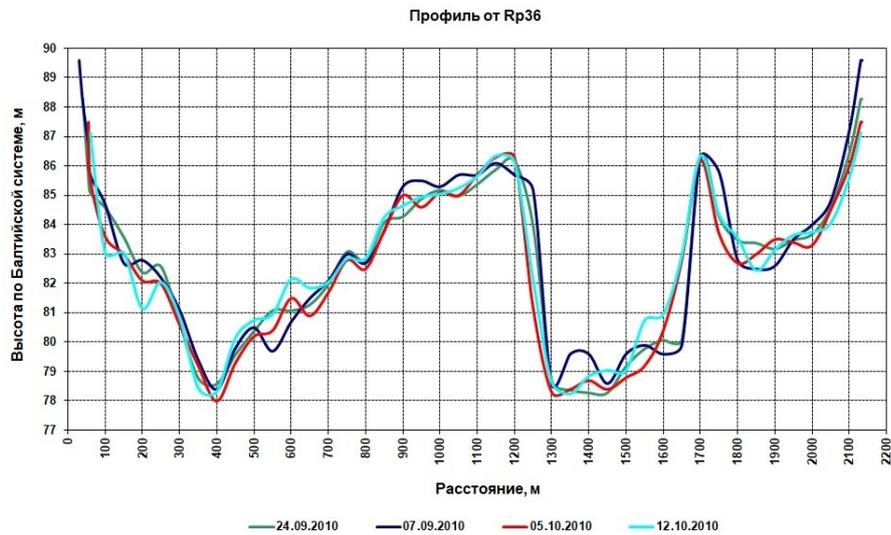


Рисунок 2 - Изменение профилей дна
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.140.92.2>

Результаты обработки данных изменений профилей дна реки с 9 по 24 сентября 2010 года показывают, что деформации дна реки неравномерны по профилю и максимальные значения размыва достигают примерно от 0,2 до 1,52 м, а намыва – примерно от 0,25 до 1,35 м, при среднем расходе воды за этот промежуток времени равном 11312,5 м³/сек; ПН – постоянное начало (рис. 3).



Рисунок 3 - Деформации дна р. Лена по профилю г/п Табага с 9 по 24 сентября 2010 года
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.140.92.3>

Деформации дна реки с 24 сентября по 5 октября 2010 года по сравнению с предыдущими данными становятся более локальными. Максимальный уровень размыва в районе 1250 м достигает ~2,80 м, а намыва на участке 1650 м – ~2,7 м, при этом средний расход воды за этот промежуток времени равен 8350,0 м³/сек (рис. 4).



Рисунок 4 - Деформации дна р. Лена по профилю г/п Табага с 24 сентября по 5 октября 2010 года
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.140.92.4>

Деформации дна реки с 5 по 12 октября 2010 года имеют также неравномерный, но противоположный характер к деформации дна реки с 9 по 24 сентября 2010 года. Здесь наиболее преобладает деформация намыва. Максимальное значение размыва примерно равно 0,9 м, а максимальное значение намыва примерно 1,58 м. При этом средний расход воды за данный промежуток времени равен 7063,75 м³/сек (рис. 5).

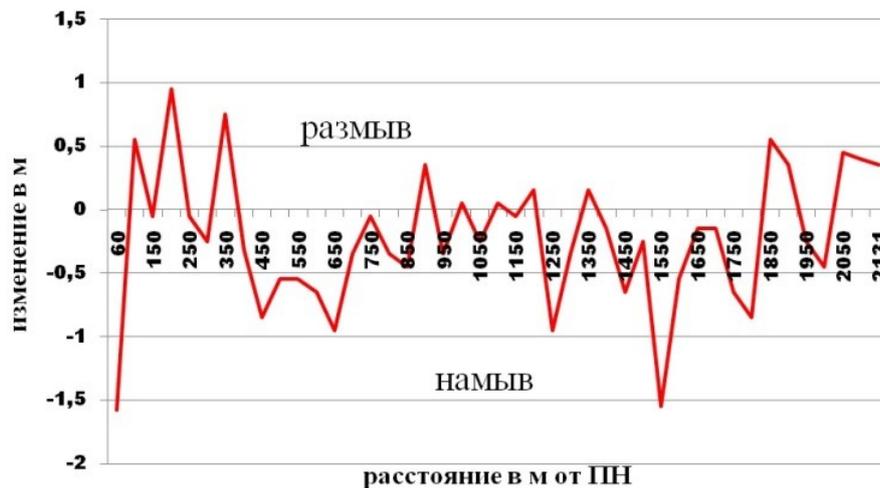


Рисунок 5 - Деформации дна р. Лена по профилю г/п Табага с 5 по 12 октября 2010 года
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.140.92.5>

Средний расход воды с 9 сентября по 12 октября 2010 года постепенно уменьшается. С другой стороны, при среднем расходе воды, равном $11312,5 \text{ м}^3/\text{сек}$, размыв дна реки преобладает по сравнению с размывом дна реки при расходе воды равном $7063,75 \text{ м}^3/\text{сек}$. Здесь преобладает намыв дна реки. Данный процесс деформации дна, скорее всего, связан с различием скоростей движения потока при разных расходах воды. Известно, что чем больше расход воды, тем больше скорость движения потока.

Характерно также, что при достаточно больших значениях расхода воды интенсивное его уменьшение вызывает большую деформацию размыва дна, чем при более низких значениях расхода воды (рис. 3–5).

В соответствии с [4], [10] высота микроформ (h_r) при состоянии русла, близком к состоянию динамического равновесия, будет $1,37 \text{ м}$, а их длина составит $79,9 \text{ м}$, скорость смещения гряд-микроформ установившегося профиля C_r будет равна $26,6 \text{ м/сутки}$. Период движения этих гряд, т.е. колебаний отметок дна при перемещении гряд-микроформ длиной $\sim 79,9 \text{ м}$ в пределах их высота $0-1,37 \text{ м}$, составит 3 суток.

В районе г/п Табага могут формироваться мезоформы высотой (Δ_m) $\sim 7,02 \text{ м}$ на поверхности этих мезоформ будут формироваться микроформы высотами $\sim 0,67 \text{ м}$. А скорость перемещения мезоформ (C_Δ) при h_r / Δ_m равном $0,095$, будет иметь значение $\sim 1,7 \text{ м/сутки}$. Для средних руслоформирующих расходов воды $\sim C_\Delta \cong 1,4 \text{ м/сутки}$ период колебаний дна на участке г/п Табага с амплитудой $\sim 5-7 \text{ м}$ в результате смещения мезоформ составит для мезоформ длиной $0,5 \text{ км}$ до 2 км соответственно 12 лет и 50 лет [4], [10].

Дискуссия

Таким образом, выше приведенные высокие значения деформаций размыва и намыва дна реки на профиле г/п Табага связаны с турбулентным характером течения, с изменчивостью гидрологических и гидроморфологических русловых процессов, а также с переформированием микро- и мезоформ в русловой части реки.

Исходя из данных предполагаем, что при средней длине мезоформ, равном $\sim 1,25 \text{ км}$, от г/п с. Табага до ППМГ «Хатассы-Павловск» могут располагаться примерно до семи-восьми мезоформ, а на поверхностях этих мезоформ могут располагаться примерно до шестнадцати гряд-микроформ. Из сравнения скоростей смещения гряд-микроформ и мезоформ следует, что гряды высотой от $0-1,37 \text{ м}$ могут смещаться с одной мезоформы в другую. Следовательно, при подпадании ППМГ во впадинах микро и мезоформ возникает возможность оголения дюкера с определенной периодичностью и, соответственно, в такие периоды может резко снизиться надежность ППМГ «Хатассы-Павловск» через р. Лена. Но эти вопросы требуют расширенных мониторинговых исследований.

Нами были рассмотрены уклоны водной поверхности в заторном 2010 году на гидропостах Покровск, Табага, Якутск, Кангалассы, Намцы. При этом уклон водной поверхности был достаточно высок и динамичен, соответственно, скорость распространения волны водной поверхности достигала значительной величины. Например, максимальная скорость подъема уровня воды на г/п Намцы была равной 119 см/час , а спада – 47 см/час . При таких ситуациях максимальная скорость течения при спаде может достичь $5,0-6,0 \text{ м/сек}$ и более, как считают многие специалисты [11].

Заключение

Показана методика определения деформации дна реки по г/п с. Табага, позволяющая за определенный промежуток времени анализировать уровни размыва и намыва дна реки по одной линии данного створа и установить особенности их проявления.

Выше приведенные высокие значения деформаций размыва и намыва дна реки Лена на профиле г/п Табага связаны с турбулентным характером течения, изменчивостью гидрологических и гидроморфологических русловых процессов, а также с переформированием микро- и мезоформ в русловой части реки.

Установлена качественная связь уровня размыва и намыва донных наносов со средним расходом воды. Например, при среднем расходе воды, равном $8350,0 \text{ м}^3/\text{сек}$, максимальный уровень размыва достигает $\sim 2,8 \text{ м}$, намыва – $\sim 2,7 \text{ м}$, а при среднем расходе воды, равном $7063,75 \text{ м}^3/\text{сек}$, максимальный размыв достигает $0,9 \text{ м}$, а намыв – $\sim 1,58 \text{ м}$.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Лазарев С.А. Диагностирование протяженных пространственно-деформируемых участков магистральных газопроводов в системе управления техническим состоянием и целостностью ПАО «Газпром» / С.А. Лазарев, С.А. Пульников, Ю.С. Сысоев // Территория Нефтегаз. — 2016. — № 4. — С. 106-115.
2. Лазарев С.А. Оценка технического состояния линейной части магистрального газопровода на участках со значительными пространственными деформациями / С.А. Лазарев, С.А. Пульников, Ю.С. Сысоев // Газовая промышленность. — 2016. — № 9 (743). — С. 84-90.
3. ВНИР ВІЗ-2. Подводные трубопроводы, водовыпуски и водоприемники. — М.: Прейскурантиздат, 1987. — 56 с.
4. СН 163-83. Ведомственные строительные нормы. Учет деформаций речных русел и берегов водоемов в зоне переходов магистральных трубопроводов (нефтегазопроводов). — М.: Госкомгидромет, 1985. — 142 с.
5. Натальчук Ю.М. Анализ русловых процессов на подводных переходах / Ю.М. Натальчук // Газовая промышленность. — 2005. — № 10. — С. 40-43.
6. Кондратьев Н.Е. Основы гидроморфологической теории руслового процесса / Н.Е. Кондратьев, И.В. Попов, Б.Ф. Смищенко. — Л.: Гидрометеиздат, 1982. — 272 с.
7. Копалиани З.Д. Гидравлическое моделирование руслового процесса р. Утулик на участке мостовых переходов / З.Д. Копалиани, О.А. Твалавадзе, Д.В. Носелидзе // Русловые процессы рек и динамика водоемов. Труды ГГН вып. 337. — Л.: Гидрометеиздат, 1990. — С. 138-163.
8. Шпакова Р.Н. Изменение уровней воды и уклонов водной поверхности при заторных явлениях на р. Лене / Р.Н. Шпакова, К.Н. Кусатов, З.Г. Корнилова // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. — 2019. — Т. 28. — С. 3-20. — DOI: 10.26516/2073-3402.2019.28.3
9. Шестаков А.В. Исследование гидрометрических данных при изучении русловых процессов на реках / А.В. Шестаков // Вопросы географии Якутии. — 1973. — Вып. 6. — С. 58-61.
10. Кусатов К.И. Деформации дна в районе Табагинского мыса и их влияние на положение ППМГ через р. Лена / К.И. Кусатов, А.П. Аммосов // Сварка и безопасность. — Якутск: Офсет, 2012. — Т. 2. — С. 222-231.
11. Кусатов К.И. Антропогенный фактор в заторообразовании и весеннем наводнении при ледоходе на р. Лена / К.И. Кусатов, А.П. Аммосов, З.Г. Корнилова [и др.] // Метеорология и гидрология. — 2012. — № 6. — С. 54-60. — DOI: 10.3103/S1068373912060064.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Lazarev S.A. Diagnostirovanie protjazhennyh prostranstvenno-deformiruemyh uchastkov magistral'nyh gazoprovodov v sisteme upravlenija tehničeskim sostojaniem i celostnost'ju PAO «Gazprom» [Diagnostics of the Extended Spatially Deformable Sections of Gas Main Pipelines in the System of Technical Condition and Integrity Management of PJSC Gazprom] / S.A. Lazarev, S.A. Pul'nikov, Ju.S. Sysoev // Territorija Neftegaz [Territory of Neftegas]. — 2016. — № 4. — P. 106-115. [in Russian]
2. Lazarev S.A. Ocenka tehničeskogo sostojanija linejnoj chasti magistral'nogo gazoprovoda na uchastkah so znachitel'nymi prostranstvennymi deformacijami [An Assessment of the Technical Condition of the Linear Part of the Main Gas Pipeline at the Sections with Significant Spatial Deformations] / S.A. Lazarev, S.A. Pul'nikov, Ju.S. Sysoev // Gazovaja promyshlennost' [Gas Industry]. — 2016. — № 9 (743). — P. 84-90. [in Russian]
3. VNiR BI3-2. Podvodnye truboprovody, vodovypuski i vodopriemniki [VNIR BI3-2. Underwater pipelines, culverts and inlets]. — М.: Prejskurantizdat, 1987. — 56 p. [in Russian]
4. SN 163-83. Vedomstvennye stroitel'nye normy. Uchet deformacij rechnyh rusel i beregov vodoemov v zone perehodov magistral'nyh truboprovodov (neftegazoprovodov) [SN 163-83. Departmental construction norms. Accounting for deformations of river channels and banks of water bodies in the zone of crossings of main pipelines (oil and gas pipelines)]. — М.: Goskomgidromet, 1985. — 142 p. [in Russian]
5. Natal'chuk Ju.M. Analiz ruslovyh processov na podvodnyh perehodah [An Analysis of Channel Processes at Underwater Crossings] / Ju.M. Natal'chuk // Gazovaja promyshlennost' [Gas Industry]. — 2005. — № 10. — P. 40-43. [in Russian]
6. Kondrat'ev N.E. Osnovy gidromorfologičeskoj teorii rusloвого processa [Fundamentals of the Hydromorphological Theory of Channel Processes] / N.E. Kondrat'ev, I.V. Popov, B.F. Snishhenko. — Л.: Gidrometeoizdat, 1982. — 272 p. [in Russian]
7. Kopaliani Z.D. Gidravličeskoe modelirovanie rusloвого processa r. Utulik na uchastke mostovyh perehodov [Hydraulic Modelling of the Utulik River Channel Process at the Bridge Crossing Site] / Z.D. Kopaliani, O.A. Tvalavazde, D.V. Noselidze // Ruslovyje processy rek i dinamika vodoemov. Trudy GGN vyp. 337 [River Channel Processes and Dynamics

of Water Bodies. Proceedings of the State Hydrometeorological. Works of GGN, issue 337]. — L.: Gidrometeoizdat, 1990. — P. 138-163. [in Russian]

8. Shpakova R.N. Izmenenie urovnej vody i uklonov vodnoj poverhnosti pri zatornyh javlenijah na r. Lene [Changes in Water Levels and Water Surface Gradients in the Lena River during Jamming Phenomena] / R.N. Shpakova, K.N. Kusatov, Z.G. Kornilova // Izvestija Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Nauki o Zemle [Proceedings of Irkutsk State University. Series: Earth Sciences]. — 2019. — Vol. 28. — P. 3-20. — DOI: 10.26516/2073-3402.2019.28.3 [in Russian]

9. Shestakov A.V. Issledovanie gidrometricheskikh dannyh pri izuchenii ruslovyh processov na rekah [A Study of Hydrometric Data in the Study of Channel Processes on Rivers] / A.V. Shestakov // Voprosy geografii Jakutii [Issues of Geography of Yakutia]. — 1973. — Iss. 6. — P. 58-61. [in Russian]

10. Kusatov K.I. Deformacii dna v rajone Tabaginskogo mysa i ih vlijanie na polozhenie PPMG cherez r. Lena [Bottom Deformations in the Tabagin Cape Area and Their Influence on the Position of the PMT through the Lena River] / K.I. Kusatov, A.P. Ammosov // Svarka i bezopasnost' [Welding and Safety]. — Yakutsk: Ofset, 2012. — Vol. 2. — P. 222-231. [in Russian]

11. Kusatov K.I. Antropogennyj faktor v zatoroobrazovanii i vesennem navodnenii pri ledohode na r. Lena [Anthropogenic Factor in Ice Flooding on the Lena River] / K.I. Kusatov, A.P. Ammosov, Z.G. Kornilova [et al.] // Meteorologija i gidrologija [Meteorology and Hydrology]. — 2012. — № 6. — P. 54-60. — DOI: 10.3103/S1068373912060064. [in Russian]