НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
КРИОСФЕРА ЗЕМЛИ

Криосфера Земли, 2012, т. XVI, № 3, с. 87–93 http://www.izdatgeo.ru

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

УДК 528

КАРТОГРАФО-МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ НЕОДНОРОДНОСТИ МОРФОЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ЛАНДШАФТОВ И ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ЗАПАДНОГО ЯМАЛА

Т.А. Коробова

Институт криосферы Земли СО РАН,
625000, Тюмень, а/я 1230, Россия; korobova.tatiana@gmail.com

Проведен картографо-математический анализ неоднородности морфологической структуры ландшафтов типичных тундр Ямала, в основу которого положен расчет коэффициента ландшафтной неоднородности. Построена карта районирования исследуемой территории в зависимости от неоднородности ландшафтных и геокриологических условий. Рассмотрено значение картографо-математического анализа неоднородности морфологической структуры ландшафтов для разработки принципов прокладки линейных объектов и проведения строительных работ. На примере потенциальных трасс трубопроводов предложен вариант оптимального пути прокладки трассы в зависимости от неоднородности морфологической структуры ландшафтов и геокриологических условий.

Неоднородность морфологической структуры ландшафта, геокриологические условия, типы местностей, районирование, трассы трубопроводов

CARTOGRAPHIC-MATHEMATICAL ANALYSIS OF HETEROGENEITY OF LANDSCAPE MORPHOLOGICAL STRUCTURE AND PERMAFROST CONDITIONS OF WESTERN YAMAL

T.A. Korobova

Earth Cryosphere Institute, SB RAS,
625000, Tyumen, P/O box 1230, Russia; korobova.tatiana@gmail.com

A cartographic-mathematical analysis of heterogeneity of the landscape morphological structure of typical Western Yamal tundras has been fulfilled on the basis of the calculation of the landscape heterogeneity coefficient. A map of zoning of the investigated area versus the heterogeneity of landscape and permafrost conditions has been created. We considered the importance of cartographic-mathematical analysis of heterogeneity of landscape morphological structure for selection of the basic principles of linear plotting facilities and construction. On the example of the potential pipeline routes, the optimal way of their installation has been offered.

Heterogeneity of the landscape morphological structure, permafrost conditions, types of terrain, zoning, pipeline routes

ВВЕДЕНИЕ

Район исследований приурочен к подзоне типичных тундр Ямала и охватывает два ландшафтных района: пологоувалистых слабо заболоченных равнин и плоских пологоувалистых сильно заболоченных равнин [*Карта..., 1991*].

Под морфологической структурой ландшафта понимается набор многократно и закономерно повторяющихся в его пределах генетически и физиономически однородных составных частей – морфологических единиц [*Солнцев, 2001*]. Один из количественных показателей дифференцированности ландшафта – степень раздробленности его морфологической структуры, позволяющая судить о том, насколько велики или малы по площади и как часто сменяют друг друга в пространстве входящие в состав ландшафта морфологические единицы [*Николаев, 1979*]. Согласно методу ландшафтной индикации, количественные показатели морфологической структуры ландшафта, а также его наиболее физиономичный (отчетливо различимый) признак – ландшафтный рисунок [*Викторов, 1986, 1990, 1998*] – могут быть надежными индикаторами скрытых, трудновыявляемых характеристик ландшафта. Метод ландшафтной

© Т.А. Коробова, 2012

индикации получил широкое распространение в геокриологии и инженерной геологии [*Вечная мерзлота..., 2002; Дроздов, 2004; Украинцева и др., 2011*]. Характеристика неоднородности морфологической структуры геосистем любого таксономического ранга может применяться для оценки неоднородности геокриологических условий. Единицы иерархии геологических тел коррелируют с геосистемами глобального, регионального и локального уровней.

В работе оценивалась неоднородность ландшафтно-геокриологических условий на региональном уровне: рассматривалась морфологическая структура геосистем ранга ландшафтов и местностей. Согласно [*Методы..., 1986; Разработка..., 2009*], типам местностей соответствуют типы мерзлых толщ, характеризующиеся целым набором геокриологических показателей: распространение многолетнемерзлых пород, температура пород и их льдистость, особенности распространения подземных льдов, комплекс экзогенных геокриологических процессов и форм их проявления. Тип местности определяет также условия расчленения и дренированность поверхности, состав отложений [*Карта..., 1991; Инженерно-геологический мониторинг..., 1996*; *Основы..., 2001*]. В таблице приведен пример индикации геокриологических условий в зависимости от значений рассчитанного нами коэффициента неоднородности морфологической структуры ландшафтов типичной тундры.

Методы картографо-математического анализа и количественной оценки неоднородности морфологической структуры ландшафта были разработаны и предложены Л.И. Ивашутиной и В.А. Николаевым еще в конце 1960-х гг. Картографо-математический анализ морфологической структуры ландшафта позволяет выявить его неоднородность и выразить ее в виде количественных коэффициентов. Развитие компьютерных технологий, настольных ГИС-программ (геоинформационных систем), появление новых методов обработки геопространственной информации и активное внедрение их в повседневную жизнь открыло новые возможности применения ранее предложенных методик количественного анализа морфологической структуры ландшафтов. Эти методики позволяют оценить неоднородность ландшафтных условий и соответствующую им неоднородность условий геокриологических.

Цель работы – провести картографо-математический анализ неоднородности морфологической структуры ландшафтов типичной тундры Западного Ямала, составить карту районирования в зависимости от неоднородности ландшафтно-геокриологических условий, а также на примере потенциально проложенных трасс трубопроводов рассчитать неоднородность морфологической структуры ландшафтов и предложить оптимальный вариант прокладки трассы.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА

Картографо-математический анализ и оценка неоднородности морфологической структуры ландшафтов проводились для участка типичной тундры Западного Ямала по методике, разработанной Л.И. Ивашутиной и В.А. Николаевым [*Ивашутина, Николаев, 1969; Николаев, 1979*]. В основе методики лежит расчет коэффициента ландшафтной неоднородности ($K_{лн}$), который создатели методики применили для физико-географических регионов и провинций, расположенных за пределами распространения многолетнемерзлых пород. Коэффициент вычисляется по формулам

$$K_{лн}=\frac{1}{c_n^2}\sum_{i=1}^{n-1}\sum_{j=i+1}^{n} m_i m_j \quad \left(1\le i<j\le n, \quad m=\frac{S}{100\,\%}n\right),$$

$$c_n^2=\frac{n(n-1)}{2}.$$

Здесь S – площадь отдельной генетической группы (вида) ландшафтов в районе, %; n – число генетических групп ландшафтов; i, j – порядковые номера групп ландшафтов; c_n^2 – число сочетаний из количества групп по два, где n максимально.

Коэффициент ландшафтной неоднородности ($K_{лн}$) отражает степень сложности набора различных видов и групп ландшафтов, составляющих структуру района и соотношение их площадей. Значения коэффициента могут изменяться от 0 до 1. При наличии наибольшего числа групп ландшафтов и равном соотношении их площадей в районе $K_{лн}$ достигает максимума, т. е. равен 1. Если в районе присутствует лишь одна группа ландшафтов, то $K_{лн}$ снижается до минимума и становится равным нулю [*Ивашутина, Николаев, 1969; Николаев, 1978, 1979*].

Автором настоящей статьи рассчитан коэффициент ландшафтной неоднородности для всех встречаемых типов местности в пределах каждого типа ландшафта исследуемой территории, приуроченной к зоне сплошного распространения многолетнемерзлых пород. Данные о размере площадей урочищ и их доле в пределах каждой местности были получены в результате проведенной автором векторизации материалов ландшафтной съемки трассы проектируемого трубопровода масштаба 1:100 000, выполненной во ВСЕГИНГЕО в 1978–1979 гг. Применение методики расчета $K_{лн}$ было осложнено принципом составления исходной ландшафтной карты, на которой урочища даны преимущественно в сочетаниях, отражающих процентное соотношение (50:50, 75:25 и т. д.) двух типов урочищ в пределах одного полигона на

Ландшафтная индикация геокриологических условий в зависимости от неоднородности морфологической структуры ландшафтов

Ландшафты	$K_{лн}$	Индекс	Местность	Состав отложений	Геокриологические характеристики				
					T, °C	*W*, д. е.	*S*, м	Ведущие экзогенные геологические процессы	ММП, %
Однородные	0,10	IIILa:Г1	Плоская овражно-балочная местность на озерно-аллювиальной террасе	Преимущественно пески, реже супеси	<–5	<0,2	0,4–1,2	Заболачивание, морозобойное растрескивание	>95
	0,27	IIILa:А1	Плоская озерно-котловинная местность на озерно-аллювиальной террасе	Пески, подстилаемые глинами	–5...–7	>0,2	0,6–1,6	Сезонное пучение, дефляция, термоэрозия	80–90
	0,44	IVm:Б1	Озерно-болотная местность; плоская и пологоволнистая поверхность с болотами, торфяниками на четвертой морской террасе	Переслаивание песков и глин	<–5	0,4; ПЖЛ	0,3–1,0	Термокарст, сезонное пучение	75–80
Относительно однородные	0,63	IIm:Г1	Плоская овражно-балочная местность на второй морской террасе	Суглинки, глины	–2...–5	0,4–0,6	0,3–1,4	Заболачивание, солифлюкция, дефляция	>95
	0,72	IIIm:З1	Холмистая и холмисто-увалистая местность с крупными логами и балками на третьей морской террасе	Преимущественно суглинки	–3...–6	<0,2; 0,4	0,6–1,0	Солифлюкция, термоэрозия, заболачивание, морозобойное растрескивание	>90
Неоднородные	0,82	IIIm:В2	Волнистая и мелкохолмистая глубококотловинная хасырейная местность на третьей морской террасе	Суглинки, пески	–1...–7	<0,2; ПЖЛ	0,5–1,0	Пучение, термоэрозия, морозобойное растрескивание	80–90
	0,83	IVm:Г1	Плоская овражно-балочная местность на четвертой морской террасе	Пески, подстилаемые суглинками, суглинки, глины	–2...–6	0,2–0,6	0,3–1,6	Дефляция, морозобойное растрескивание, солифлюкция, заболачивание, термоэрозия	>95
Сильно неоднородные	0,86	IIIm:Д1	Крупнохолмистая термоденудационная местность с циркообразными нишами, террасами на третьей морской террасе	Суглинки, глины, пески, супеси, торф	–2...–7	0,2–0,6	0,25–1,6	Заболачивание, дефляция, морозобойное растрескивание, термоэрозия	>95
	0,89	IIIm:А2	Волнисто-холмистая озерно-котловинная местность на третьей морской террасе	Пески, супеси, суглинки, глины, торф	–2...–7	0,2–0,6; ПЖЛ	0,25–1,5	Заболачивание, сезонное пучение, термоэрозия, солифлюкция, морозобойное растрескивание, термокарст	80–90
	0,92	Оа	Поймы крупных рек	Пески с линзами супесей, суглинков	–1,5...–7	0,2–0,4; ПЖЛ	0,2–1,7	Термокарст, заболачивание, морозобойное растрескивание	75–85

Примечание. *T* – среднегодовая температура пород; *W* – объемная льдистость; *S* – глубина сезонноталого слоя; ММП – распространение с поверхности многолетнемерзлых пород; ПЖЛ – полигонально-жильные льды.

карте. Это потребовало проведения дополнительных расчетов, в результате которых были получены значения площадей по каждому типу урочищ.

ПРИНЦИПЫ РАЙОНИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИИ

В соответствии с рассчитанными значениями $K_{лн}$ все местности в пределах каждого типа ландшафта были объединены в четыре группы: сильно неоднородные, неоднородные, относительно однородные, однородные. Каждая из групп отражает степень неоднородности морфологической структуры ландшафта и геокриологических условий (см. таблицу).

К сильно неоднородным местностям были отнесены: 1) крупнохолмистая термоденудационная местность с циркообразными нишами на первой, второй и третьей морских террасах (Im:Д; IIm:Д; IIIm:Д); 2) плоская озерно-котловинная местность на второй и третьей морских террасах (IIm:A1; IIIm:A1); 3) волнисто-холмистая озерно-котло-

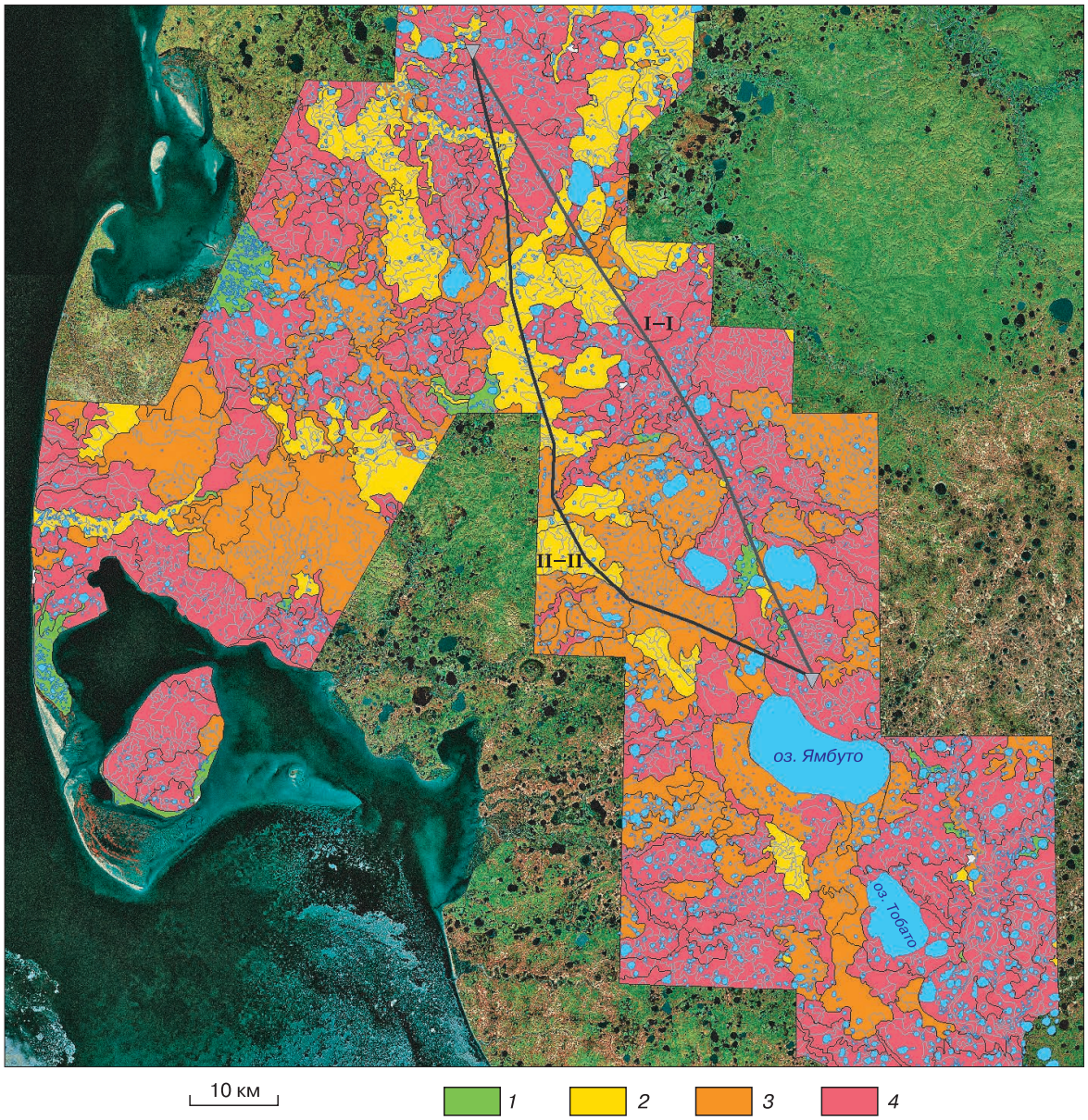

Рис. 1. Районирование территории по неоднородности морфологической структуры ландшафтов и геокриологических условий:

1 – однородные, $K_{лн} < 0{,}45$; *2* – относительно однородные, $K_{лн} = 0{,}45–0{,}75$; *3* – неоднородные, $K_{лн} = 0{,}75–0{,}85$; *4* – сильно неоднородные, $K_{лн} > 0{,}85$. Трассы: I–I, II–II.

винная местность на второй, третьей и четвертой морских террасах (IIm:А2; IIIm:А2; IVm:А2); 4) плоская овражно-балочная местность на третьей морской террасе (IIIm:Г1); 5) озерно-болотная местность на второй террасе (IIm:Б1); 6) поймы крупных рек (Оа). Коэффициент неоднородности этих местностей более 0,85. Следует отметить, что поймы крупных рек отнесены к группе сильно неоднородных местностей в силу высокой степени сложности набора урочищ, входящих в их состав, разнообразия литологического состава отложений и растительных сообществ, особенностей проявления экзогенных геокриологических процессов, контрастности температурного режима и неоднородности по мощности многолетнемерзлых пород.

К неоднородным местностям были отнесены: 1) пологоволнистая ложбинно-балочная местность на третьей морской террасе (IIIm:Г2); 2) холмистая и холмисто-увалистая местность на второй морской террасе (IIm:З1); 3) волнистая и мелкохолмистая глубококотловинная хасырейная местность на третьей морской террасе (IIIm:В2); 4) плоская овражно-балочная местность на четвертой морской террасе (IVm:Г1). Коэффициент ландшафтной неоднородности изменяется от 0,75 до 0,85.

В группу относительно однородных вошли: 1) озерно-болотная местность на первой озерной террасе (IL:Б1); 2) крупнохолмистая термоденудационная местность с циркообразными нишами на четвертой морской террасе (IV:Д); 3) холмистая и холмисто-увалистая местность на третьей и пятой морских террасах (IIIm:З1; Vm:З1); 4) плоская овражно-балочная местность на второй морской террасе (IIm:Г1). Коэффициент ландшафтной неоднородности изменяется от 0,45 до 0,75.

В свою очередь однородными оказались: 1) лайды (Оm), озерно-болотная местность на четвертой морской террасе (IVm:Б1); 2) плоская озерно-котловинная местность на второй озерно-аллювиальной террасе и первой надпойменной террасе (IILa:А1; Ia:А1); 3) гривистые поймы (Оа:Е; Im:Е); 4) волнисто-холмистая озерно-котловинная местность на первой надпойменной террасе (Ia:А2); 5) плоская овражно-балочная местность на первой морской террасе (Im:Г1); 6) хасырейная местность на второй морской террасе (IIm:В1). Коэффициент ландшафтной неоднородности у них менее 0,45.

На основе рассчитанных значений коэффициента ландшафтной неоднородности построена карта районирования исследуемой территории, отражающая неоднородность ландшафтно-геокриологических условий (рис. 1). В качестве картографического способа изображения использовался качественный фон – отображение цветом групп неоднородности ландшафтных и геокриологических условий.

ЗНАЧЕНИЕ КАРТОГРАФО-МАТЕМАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ТРАСС ТРУБОПРОВОДОВ

Для выбора оптимального пути прокладки трассы линейных объектов необходимо учитывать целый ряд характеристик (факторов) ландшафтных и геокриологических условий, влияющих на удорожание строительства, таких как генезис отложений, рельеф, уклон поверхности, состав отложений, температура пород и их льдистость, экзогенные геокриологические процессы, мощность сезонноталого слоя, а также условия расчленения поверхности (степень дренированности), характер растительного покрова и др. [*Инженерно-геокриологический мониторинг..., 1996; Рыльский, 2006*]. Типы местностей являются индикаторами большинства перечисленных факторов.

Таким образом, можно говорить о том, что пространственную неоднородность морфологической структуры местностей и, как следствие, геокриологических условий, необходимо учитывать при проектировании трасс трубопроводов и для оценки экономических затрат. Неоднородность ландшафтно-геокриологических условий также имеет немаловажное прикладное значение с точки зрения планирования объемов земляных работ, выбора способа прокладки магистральных трубопроводов и других линейных сооружений, расчета буровых работ.

Следует отметить, что картографо-математический анализ неоднородности морфологической структуры ландшафтов и геокриологических условий нуждается в опробовании на конкретных инженерных объектах с целью выявления связи $K_{лн}$ с ростом затрат на выбор проектных решений и строительство. Выявление типа зависимости между неоднородностью морфологической структуры ландшафтов и увеличением затрат на строительство позволит рассчитать величину предполагаемых затрат. Особенно это важно в настоящее время, когда происходит активное освоение северных территорий в результате разработки и расширения нефтегазовых месторождений. Неоднородность морфологической структуры ландшафтов – один из факторов, который может быть использован для оптимизации трасс трубопроводов. Основная задача использования методики картографо-математического анализа неоднородности морфологической структуры ландшафтов – внедрение ее в проектные организации для оценки увеличения затрат на строительство линейных инженерных объектов и выбора оптимальных и экономически выгодных путей трасс.

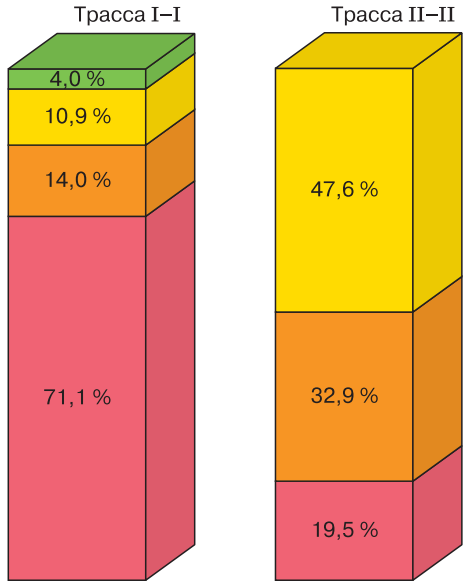

Рис. 2. Распределение неоднородности морфологической структуры ландшафтов по экспериментально проложенным трассам линейных объектов.

Условные обозн. см. на рис. 1.

На исследуемой территории были произвольно проложены две трассы трубопровода (I–I и II–II). На основе полученного в результате проведения работы картографо-математического материала рассчитано количество (%) пересечения трассами различных по неоднородности местностей и предложен вариант оптимального пути прокладки трассы. В результате трасса I–I, несмотря на меньшую протяженность (81 км), проходит преимущественно по территории с сильно неоднородными ландшафтно-геокриологическими условиями, $K_{лн} > 0{,}85$ (71,1 %). Трасса II–II имеет большую протяженность (90 км), но она всего на 19,5 % своей длины пересекает сильно неоднородные местности и ландшафты, при этом большая часть трассы оказывается в относительно однородных условиях, $K_{лн} = 0{,}45–0{,}75$ (рис. 2).

Несмотря на большую протяженность, второй вариант прокладки трассы трубопровода (трасса II–II) оптимален для строительства, так как трасса проходит по более однородным ландшафтно-геокриологическим условиям, что упрощает выбор и сужает круг проектных решений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для территории подзоны типичных тундр Западного Ямала проведен картографо-математический анализ неоднородности морфологической структуры ландшафтов и геокриологических условий на основе расчета коэффициента ландшафтной неоднородности. Выделены четыре группы местностей: сильно неоднородные, неоднородные, относительно однородные и однородные. Проведено районирование территории в зависимости от неоднородности ландшафтно-геокриологических условий и построена карта. К наиболее неоднородным местностям на исследуемой территории были отнесены крупнохолмистая термоденудационная местность с циркообразными нишами, озерно-котловинная местность, плоская овражно-балочная местность на третьей морской террасе, озерно-болотная местность на второй террасе и поймы крупных рек. В группу однородных вошли: лайды, озерно-болотная местность на четвертой морской террасе, плоская озерно-котловинная местность на озерно-аллювиальной террасе и первой надпойменной террасе, гривистые поймы.

Рассмотрена роль картографо-математического анализа неоднородности морфологической структуры ландшафтов и геокриологических условий для выбора принципов прокладки линейных объектов и проведения строительных работ. Установлено, что неоднородность морфологической структуры ландшафтов – один из факторов, который может быть использован для оптимизации трасс трубопроводов, но требует дополнительного опробования на конкретных инженерных объектах. На примере потенциальных трасс трубопроводов предложен вариант оптимального пути прокладки трассы, основанный на сравнительной оценке неоднородности ландшафтно-геокриологических условий.

Литература

Вечная мерзлота и освоение нефтегазоносных районов. М., ГЕОС, 2002, 400 с.

Викторов А.С. Рисунок ландшафта. М., Мысль, 1986, 179 с.

Викторов А.С. Ландшафтная индикация и ее практическое применение. М., Изд-во Моск. ун-та, 1990, 200 с.

Викторов А.С. Математическая морфология ландшафта. М., Тратек, 1998, 220 с.

Дроздов Д.С. Информационно-картографическое моделирование природно-техногенных сред в геокриологии: Автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук. Тюмень, 2004, 49 с.

Ивашутина Л.И., Николаев В.А. К анализу ландшафтной структуры физико-географических регионов // Вестн. МГУ, 1969, № 3, с. 59.

Инженерно-геокриологический мониторинг промыслов Ямала // Геокриологические условия освоения Бованенковского месторождения. Тюмень, 1996, 234 с.

Инженерно-геологический мониторинг промыслов Ямала. Т. II. Геокриологические условия Бованенковского месторождения / В.В. Баулин, В.И. Аксенов, Г.И. Дубиков. Тюмень, ИПОС СО РАН, 1996, 240 с.

Карта природных комплексов севера Западной Сибири (для целей геокриологического прогноза и планирования природоохранных мероприятий при массовом строительстве). М-б 1:1 000 000 / Под ред. Е.С. Мельникова, Н.Г. Москаленко. М., ВСЕГИНГЕО, 1991.

Методы региональных инженерно-геокриологических исследований для равнинных территорий / Под ред. Е.С. Мельникова, Г.И. Дубикова. М., Недра, 1986, 207 с.

Николаев В.А. Классификация и мелкомасштабное картографирование ландшафтов. М., Изд-во Моск. ун-та, 1978, 62 с.

Николаев В.А. Проблемы регионального ландшафтоведения. М., Изд-во Моск. ун-та, 1979, 160 с.

Основы геокриологии. Ч. 4. Динамическая геокриология / Под ред. Э.Д. Ершова. М., Изд-во Моск. ун-та, 2001, 766 с.

Разработка и обоснование методов геокриологического мониторинга хранилищ ГСМ и захоронений буровых отходов, организованных в скважинных резервуарах в многолетнемерзлых породах регионов Крайнего Севера: Отчет. Тюмень, ИКЗ СО РАН, 2009, 173 с.

Рыльский И.А. Геоинформационное обеспечение автоматизированного трассирования трубопроводов: Дис. ... канд. геогр. наук. М., 2006, 189 с.

Солнцев Н.А. Учение о ландшафте // Избр. тр. М., Изд-во Моск. ун-та, 2001, 384 с.

Украинцева Н.Г., Дроздов Д.С., Попов К.А. и др. Ландшафтная индикация локальной изменчивости свойств многолетнемерзлых пород (Уренгойское месторождение, Западная Сибирь) // Криосфера Земли, 2011, т. XV, № 4, с. 37–40.

Поступила в редакцию
9 февраля 2012 г.