

© А.В. ХОМУТОВ, М.О. ЛЕЙБМАН, М.В. АНДРЕЕВА

akhomutov@gmail.com, moleibman@gmail.com, andreevamv88@gmail.com

УДК 551.345+911.52

## МЕТОДИКА КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ПЛАСТОВЫХ ЛЬДОВ ЦЕНТРАЛЬНОГО ЯМАЛА\*

*АННОТАЦИЯ.* В результате анализа данных бурения и опубликованных материалов составлена карта глубины залегания кровли пластового льда. Карта базируется на применении схемы ландшафтных индикационных признаков. Установлено, что пластовые льды залегают ближе к поверхности на останцах морских равнин, а глубже на участках, переработанных термокарстом.

*SUMMARY.* The Map of tabular ground ice depth was compiled as a result of the analysis of borehole and published data. The Map is based on a landscape features-indicators method. It is established that tabular ground ice occurs closer to the surface within outliers of marine plains, and deeper at the lowered surfaces subjected to thermokarst.

*КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА.* Пластовые льды, ландшафтная индикация, криогенное оползание, термокарст, картографирование.

*KEY WORDS.* Tabular ground ice, landscape indication, cryogenic landsliding, thermokarst, mapping technique.

Распространение и залегание пластовых льдов в разрезе достаточно хорошо изучено. Полуостров Ямал известен как наиболее яркий представитель районов с пластовыми льдами [1]. В многочисленных публикациях [2-9] отмечается, что на Центральном Ямале (междуречья рек Морды-Яха, Се-Яха и Надуй-Яха) пластовые льды занимают площади в десятки км<sup>2</sup>, распространены на всех геоморфологических уровнях от высоких морских равнин до поймы. По вертикали пластовые льды представлены одним или несколькими слоями. Как правило, пластовые льды встречаются на глубине от первых метров до нескольких десятков метров, имеют мощность от десятков сантиметров до десятков метров [4], [5], [8]. Они часто индицируются по специфическим криогенным процессам на поверхности [2], [7]. Изучая литературные данные, можно предположить, что в северном направлении (от Бованенково к Харасавею — двум наиболее полно охарактеризованным бурением районам) мощность и распространение пластового льда сокращаются. В обнажениях Нейтинских озер получены данные о встречаемости льдов мощностью до 20 м на глубинах 5-26 м [5], а по некоторым данным их мощность может достигать 40-50 м [3]. Площадь отдельных залежей льда может достигать 5-7 км<sup>2</sup>, мощность 30-45 м, а объем 150-300 млн м<sup>3</sup> [6].

\* Работа выполнена при поддержке Совета по грантам Президента Российской Федерации (грант НШ-5582.2012.5).

Основная информация о залегании льда находится в колонках многочисленных скважин, бурившихся при изысканиях для строительства линейных сооружений [9].

Район Бованенковского месторождения выбран опорным благодаря широкому распространению здесь пластовых льдов вблизи дневной поверхности и большому объему выполненных исследований.

К признакам близко к поверхности залегающих пластовых льдов относятся:

- на космо- и аэрофотоснимках — оползневые цирки с висячими термокарстовыми озерами на склонах (рис. 1а) и глубокие термокарстовые озера, вблизи которых в скважинах вскрыты пластовые льды (рис. 1б);

- на топографических картах — оползневые цирки (рис. 1в) и волнистые горизонталы (рис. 1г).

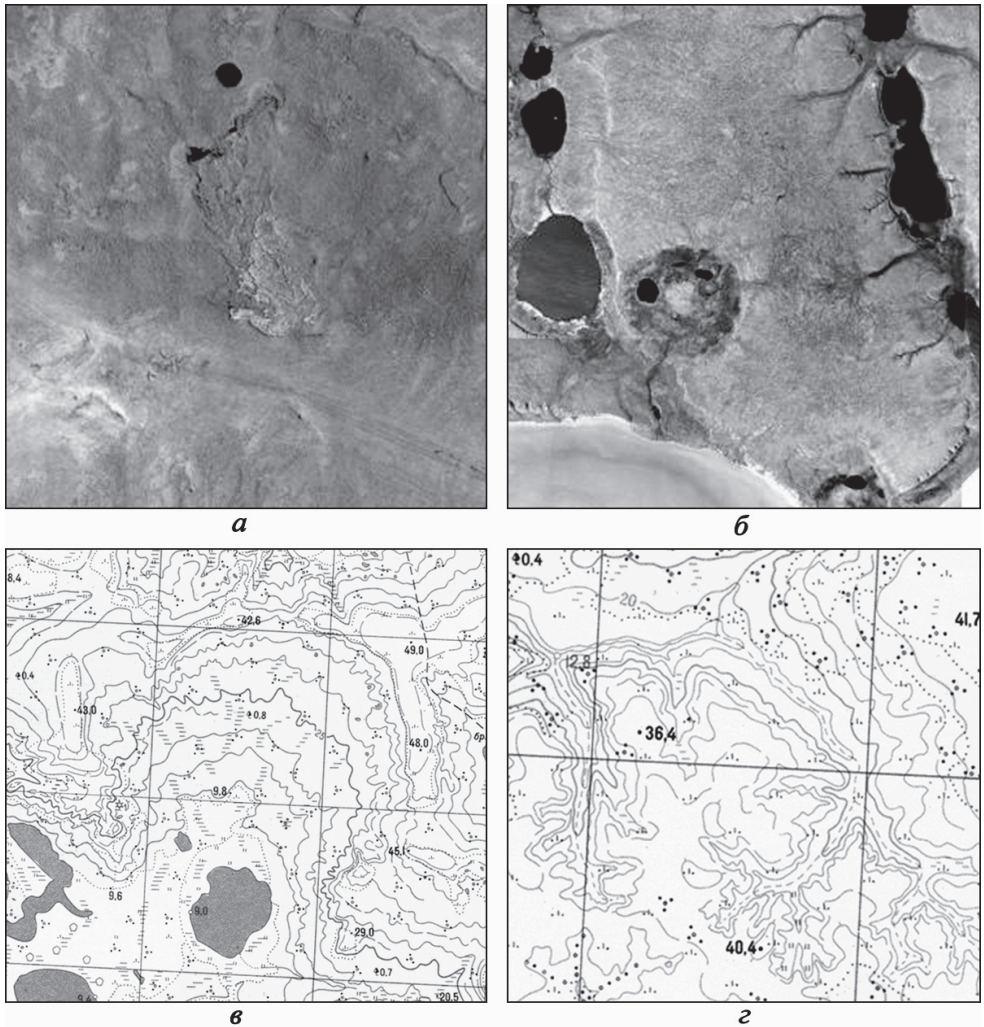


Рис. 1. Фрагменты аэрофотоснимков (а, б) и топографических карт (в, г) с признаками близко к поверхности залегающих пластовых льдов

Индикация распространения пластовых льдов на Центральном Ямале (и в целом на территории со слабой обнаженностью) может быть представлена в следующем виде. Пластовые льды встречаются:

- В контурах междуречий, у которых в береговых обрывах озер и рек, а также в скважинах наблюдается пластовый лед.
- В контурах междуречий, осложненных оползневыми цирками и вогнутыми оползневыми склонами.
- В контурах междуречий, на склонах которых наблюдаются висячие малые термокарстовые озера.
- В основании хасыреев небольших по площади озер и широких пойменных пространств с узкими сильно мигрирующими руслами.

Значительный объем фактического материала получен многолетними гео-криологическими съемками и тематическим бурением ВСЕГИНГЕО. Обработка этого материала позволяет проверить теоретические закономерности на участках съемки ВСЕГИНГЕО, проведенной под руководством Е.С. Мельникова в районе Бованенковского ГКМ в 1987-1991 годы.

По данным 76 скважин, проанализированных в этой статье, статистика распределения мощности пластовых льдов выглядит следующим образом: в 15% случаев она превышает 15 м; в 38% варьирует от 15 до 5 м; в 47% составляет менее 5 м. Изменение толщины пластовых льдов определенным образом связано с геоморфологическими условиями местности: толщина убывает в последовательности: останцы III морской террасы > останцы II аллювиальной террасы > поймы крупных рек. Эта тенденция прослеживается как для экстремальных, так и для средних значений. Толщина льдов уменьшается в основном вследствие снижения абсолютных отметок кровли пластов (то есть, термокарстовых процессов), тогда как их подошва испытывает меньшие колебания.

Индикационные таблицы, составленные в результате анализа данных бурения ВСЕГИНГЕО, топографической карты и снимков (табл. 1), использованы для интерпретации космического снимка высокого разрешения. На рис. 2 представлен гибридный снимок и топографической карты с нанесенными скважинами ВСЕГИНГЕО (фрагмент для ключевого участка 04-87).

В результате сопоставления местоположения скважин со вскрывающимися пластовыми льдами и космического снимка высокого разрешения выяснилось, что большинство скважин пробурено либо на субгоризонтальных относительно дренированных водораздельных поверхностях с кустарниково-травяно-моховым покровом (более 20%), либо на плоских/слабовогнутых склонах с преобладанием кустарников (19%) и нередко с древними криогенными оползнями. При этом глубина залегания кровли льда на этих поверхностях в основном более 3 метров (на склонах с кустарниками редко превышает 10 метров).

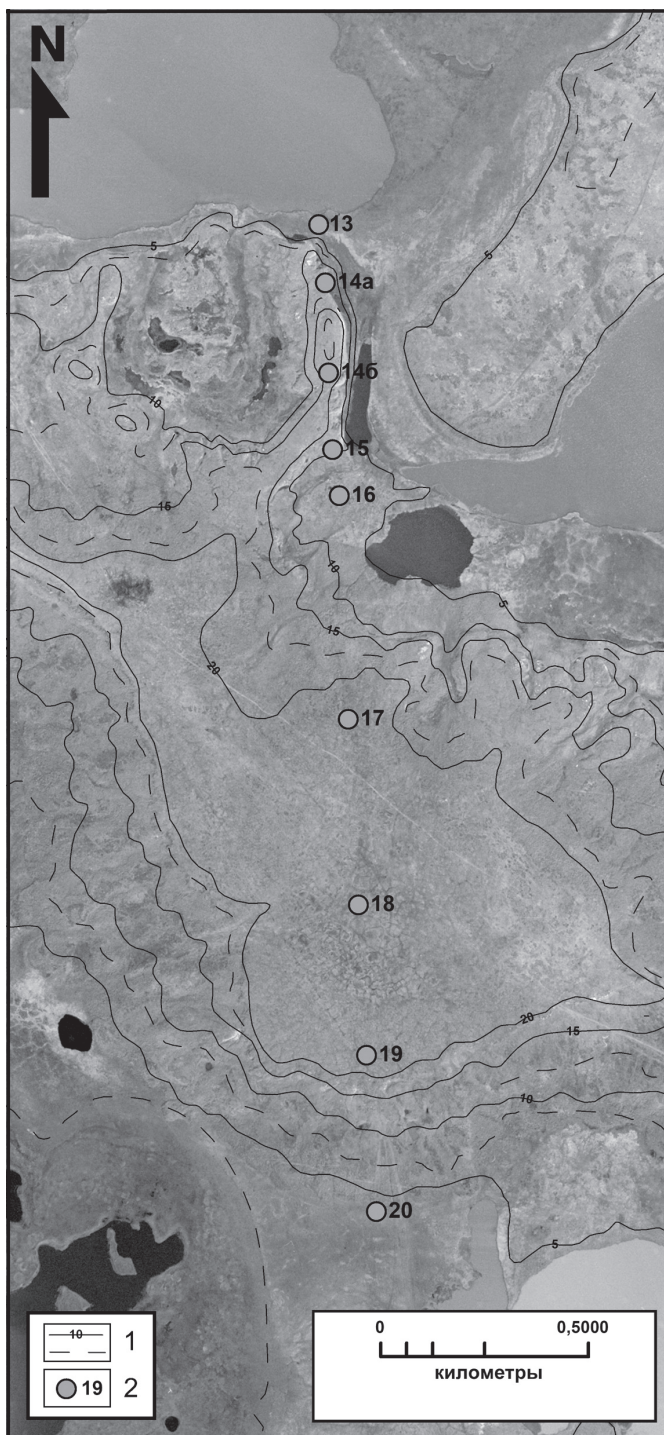


Рис. 2. Фрагмент гибрида космического снимка и топографической карты. 1 — горизонталы, 2 — скважины, пробуренные в ходе съемки ВСЕГИНГЕО



Таблица 1

Индикаторы пластового льда в скважинах с пластовым льдом на ключевом участке 04-87 (по результатам обработки данных съемки ВСЕГИНГЕО, проведенной под руководством Е.С. Мельникова в 1987-1991 гг.)

№ скв	Глубина кровли льда*	Глубина подошвы льда*	Мощность льда	Геол. индекс	Характер рельефа	Абсолютная высота (по топокарте), м	Комментарий
13	3,4	3,5	0,1	a IV	Плоская заболоченная поверхность	4-5	
	5,8	6,0	0,2				
14a	1,1	3,5	2,4	a III	Выпуклая вершина (периферийная часть)	9-10	Склоны и останец второй надпойменной террасы р.Сейха, расчлененной озерами, борт и днище хасырея. Подошва пласта льда ниже забоя скважины (за исключением тонких прослоев и ПЖЛ)
	0,9	2,7	1,8	a III	Выпуклая вершина	15-17	
14б	5,8	-	-	a III	Выпуклая заболоченная поверхность	10-12	
	5,5	-	-				
15	1,3	1,4	0,1	b IV	Плоская заболоченная поверхность	7-8	
	2,4	2,5	0,1				
16	19,7	-	-	a IV	Плоская поверхность водораздела	20-21	Поверхность III аллювиально-морской равнины, окруженной оползневыми склонами и расчлененной озерами. Подошва пласта льда ниже забоя скважины.
	12,3	-	-	am III	Полигональная поверхность торфяника	21	
17	12	-	-	am III	Нижняя часть древнего оползневого склона	20-21	Склон III аллювиально-морской равнины, окруженной оползневыми склонами и расчлененной озерами. Подошва пласта льда ниже забоя скважины.
	4,3	-	-	s IV		4	

Окончание табл. 1

22	3,1	-	-	m III	Поверхность древнего оползневового склона	8	Останец III морской террасы, окруженной оползневовыми склонами и расчлененной озерами. На оползневовых склонах мелкие висячие озера. Подошва пласта льда ниже забоя скважины (за исключением тонких прослоев и ПЖЛ).
4	14,8	-	-	m III	Плоская поверхность останца	23	
2	9,2	11,6	2,4	m III	Поверхность древнего оползневового склона	7-8	
	4,8	4,9	0,1				
23	5,1	5,2	0,1	m III(2-3)	Выпуклая поверхность склона	19-20	
	12,8	-	-				
25	3,1	9,6	6,5	m III	Пологий склон	12-13	
26	18,5	25,4	6,9	am III	Выпуклая вершина	24-25	
27	3,7	6,5	2,8	m III	Поверхность древнего оползневового склона	8-10	
28	5,8	7,6	1,8	m III	Нижняя часть древнего оползневового склона	5-6	

\* по данным съемки ВСЕГИНГЕО

Велика доля пологохолмистых и выпуклых поверхностей с кустарничково-травяно-мохово-лишайниковым покровом (почти 18% из всех анализируемых скважин). На таких поверхностях глубина залегания кровли пластового льда в основном колеблется в пределах 1-3 метров. Более 15% скважин вскрывают пластовый лед на плоских низких заболоченных поверхностях, характерных для I, II надпойменных террас, поймы р. Сеяхи и протяженных низких озерных террас. Под такими поверхностями глубина залегания кровли пластового льда почти в половине случаев составляет 5-10 метров (индицируется преобладанием сфагнового мха в растительном покрове и полигональным характером поверхности).

В остальных случаях, когда глубина залегания кровли льда не превышает 5 метров, это плоские, местами сильно заболоченные, поверхности с осоково-моховым покровом с участием кустарников (в основном ивняков в переходных зонах между чуть более дренированными приподнятыми поверхностями и низкими менее дренированными поверхностями).

Почти десятая часть всех анализируемых скважин приходится на поверхности термоцирков или оползневых цирков, где наблюдались, либо до сих пор наблюдаются обнажения пластового льда. Для этих поверхностей характерно развитие термоэрозии и зарастание пионерными группировками растительности после проявления процесса комплексной деструкции, связанного с вытаиванием пластового льда, или после схода криогенных оползней скольжения. Глубина залегания кровли пластового льда здесь изменяется от менее 1 до 10 м (мощность залежи может достигать 15 м), и нет четкого преобладания того или иного диапазона глубины. Скорей всего это связано с тем, что разные современные термоцирки или оползневые цирки врезаны в разные по генезису поверхности, в которых изначально пластовый лед залегал на различных глубинах. Также причинами разнообразия глубин залегания пластового льда на таких поверхностях могут быть различия в степени активности процессов термоэрозии и скорости зарастания нарушенных поверхностей термоцирка/оползневого цирка. Примерно по тем же причинам нет четкого преобладания какого-то конкретного диапазона глубин залегания кровли пластового льда под вогнутыми склонами, занятыми ивняками (7,1% анализируемых скважин). Отличием является только то, что минимальная глубина, на которой залегают здесь лед, составляет 1 м. Это связано с тем, что занятые высокорослой ивой склоны, являются поверхностями древних оползней, на которых на момент бурения скважин не было проявлений термоэрозии и был характерен сформированный сезонноталый слой, превышающий 1 м. Подтверждением этому может служить факт, что 3 из 4 скважин, попавших на подверженные древнему оползанию пологие склоны с ивняком, вскрывают пластовый лед на глубинах от 3 до 5 метров. Остальные скважины распределились по 1-2 скважины на различных поверхностях, и этого недостаточно для того, чтобы говорить об индикационных признаках глубины залегания пластового льда.

По результатам проведенного анализа индикационных признаков построена карта глубины залегания кровли пластового льда (рис. 3) на основе ландшафтной карты ключевого участка, методика построения которой для данного района разработана ранее [10]. При построении карты глубины залегания кровли пластовых льдов учитывалось процентное соотношение скважин, попавших в различные

природно-территориальные комплексы, выделенные при дешифрировании космоснимка. Диапазон глубин кровли пластового льда «от 1 до 5 м» характерен для пологохолмистых поверхностей — останцов II надпойменной террасы и для пологих преимущественно закустаренных склонов с широким развитием поверхностей, переработанных процессом криогенного оползания. Глубина кровли пластового льда «от 5 до 10 м», преобладает на плоских слабодренированных и заболоченных поверхностях с доминированием мохового покрова. Для большинства остальных поверхностей характерно отсутствие пластовых льдов в разрезе отложений, вскрытых бурением, поэтому эти поверхности отнесены к диапазону глубины залегания пластового льда «более 10 м».

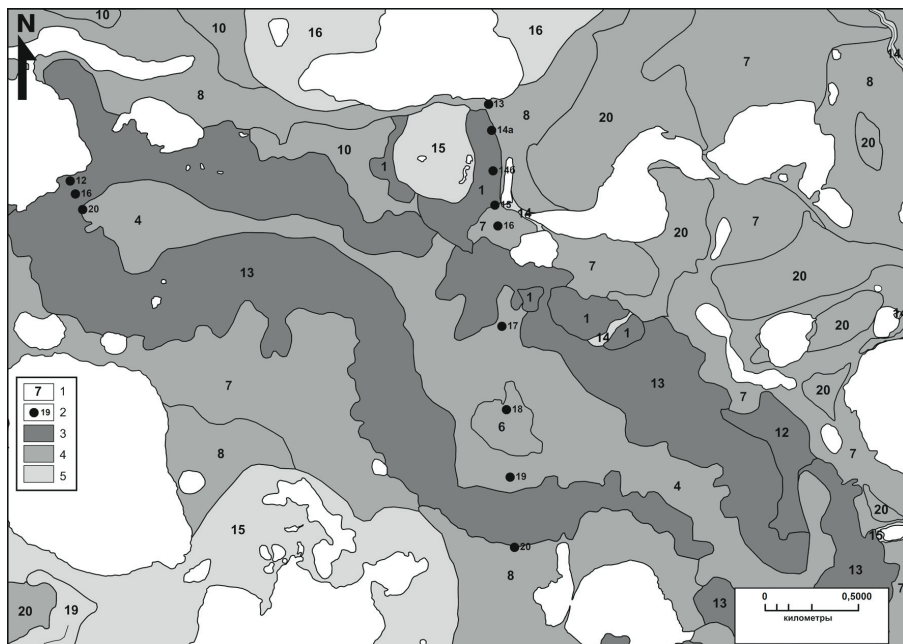


Рис. 3. Фрагмент карты глубины залегания кровли пластового льда для ключевых участков 04-87 и 01-88

- 1 — индексы ПТК (по А.В. Хомутову, 2010) [10];  
 2 — скважины, пробуренные в ходе съемки ВСЕГИНГЕО;  
 глубина залегания кровли пластового льда: 3 — от 1 до 5 м, 4 — от 5 до 10 м,  
 5 — более 10 м

На основе проведенных исследований выявлено, что наименее глубоко пластовые льды залегают в останцах высоких поверхностей. Относительно неглубоко пластовые льды встречаются под достаточно протяженными водоразделами, менее переработанными денудацией. Такие водоразделы являются своеобразными хранилищами крупных залежей пластовых льдов. Более глубокое залегание в днищах долин и озерных котловин связано с вытаиванием льда как в период термического оптимума голоцена, так и в настоящее время под действием тепляющего влияния водных масс (мигрирующих речных русел и озер) и техногенного воздействия. Характеристика рельефа может рассматри-



ваться как один из наиболее значимых компонентов ландшафта при рассмотрении глубины залегания пластовых льдов в исследуемом районе.

Анализом положения пластов льда в разрезе установлено, что наиболее мощные льды верхней 20-метровой толщи пород залегают на глубинах до 5-7 м от поверхности. Верхняя граница льдов не встречена на глубинах, превышающих 12 м, в то время как глубокие скважины такие льды встретили. Это позволяет предположить существование двух разновозрастных ярусов пластовых льдов на Центральном Ямале, что не противоречит нашим наблюдениям за двухярусным строением пластовых льдов в обнажениях Югорского полуострова и опубликованным разрезам известных обнажений Ямала и Таймыра.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стрелецкая И.Д., Украинцева Н.Г., Дроздов И.Д. Происхождение и распространение пластовых льдов в криолитозоне Арктики // Вестник МГУ. 2002. Сер. 5. География. № 3. С. 7-13.
2. Ананьева Г.В. Склоновые процессы как индикаторы типов криогенного строения ММП на участках развития залежей подземных льдов // Изучение и прогноз криогенных физико-геологических процессов: Сб. науч. трудов / Отв. ред. С.Е. Гречищев. М.: ВСЕГИНГЕО, 1984. С. 12-17.
3. Баду Ю.Б., Трофимов В.Т., Васильчук Ю.К. Основные закономерности распространения и типы пластовых залежей подземного льда в северной части Западно-Сибирской плиты // Пластовые льды криолитозоны: Сб. ст. / Отв. ред. А.И. Попов. Якутск: Ин-т мерзлотоведения СО АН СССР, 1982. С. 13-24.
4. Дубиков Г.И. Состав и криогенное строение мерзлых толщ Западной Сибири. М.: ГЕОС, 2002. 246 с.
5. Дубиков Г.И., Корейша М.М. и др. Новые результаты изучения пластовых льдов на полуострове Ямал // Региональные геокриологические исследования: Сб. науч. трудов / Под ред. С.Е. Суходольского, М.М. Корейши. М.: Стройиздат, 1985. С. 27-37.
6. Баулин В.В., Аксенов В.И., Дубиков Г.И. и др. Геокриологические условия освоения Бованенковского месторождения // Инженерно-геологический мониторинг промыслов Ямала. В 2-х тт. Тюмень: Институт проблем освоения Севера СО РАН, 1996. Т. II. 240 с.
7. Лейбман М.О., Кизяков А.И. Криогенные оползни Ямала и Югорского полуострова. М., 2007. 206 с.
8. Пармузин С.Ю., Суходольский С.Е. Пластовые льды Среднего Ямала и их роль в формировании рельефа // Пластовые льды криолитозоны. Сб. ст. / Отв. ред. А.И. Попов. Якутск: Ин-т мерзлотоведения СО АН СССР, 1982. С. 51-61.
9. Стрелецкая И.Д., Лейбман М.О. Криогеохимическая взаимосвязь пластовых льдов, криопэгов и вмещающих их отложений Центрального Ямала // Криосфера Земли. 2002. Т. 6. № 3. С. 15-24.
10. Хомутов А.В. Связь естественных криогенных процессов с динамикой тундровых ландшафтов на примере подзоны типичных тундр Карского региона: Дисс. ... канд. геол.-мин. наук. Тюмень, 2010. 183 с.