ОТЧЕТ за 2014 г
по программе фундаментальных исследований ОНЗ РАН №12
«Процессы в атмосфере и криосфере как фактор изменений окружающей среды»
научные руководители ак. Котляков В.М., ак. Голицын Г.С., ак. Израэль Ю.А.
подпрограмма 14. Криогенные и гляциальные системы: вопросы реконструкции, динамики, прогноза
координатор ак. В.П. Мельников
блок 3. Термокарст и преобразование мерзлых толщ на рубеже неоплейстоцена-голоцена: структура, состав льдов и отложений таберированых комплексов.
Ответственные исполнители: д.г.-м.н. Слагода Е. А., к.г.-м.н. Курчатова А.Н.

Публикации за 2012 - 2014 г.

1. Слагода Е.А., Опокина О.Л., Рогов В.В., Курчатова А.Н. Строение и генезис подземных льдов в верхненеоплейстоценовых-голоценовых отложениях мыса Марре-Сале (Западный Ямал) // Криосфера Земли. 2012. Т. XVI. № 2. С. 9-22.
2. Стрелецкая И.Д., Васильев А.А., Слагода Е.А., Опокина О.Л., Облогов Г.Е. Полигонально-жильные льды на острове Сибирякова (Карское море) // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2012. № 3. С. 57-63.
3. Слагода Е.А., Лейбман М.О., Хомутов А.В., Орехов П.Т. Криолитологическое строение первой террасы острова Белый в Карском море (сообщение 1) // Криосфера Земли, 2013, т. XVII, № 4, с. 11–21 http://www.izdatgeo.ru
4. Слагода Е. А., Курчатова А.Н., Попов К.А., Томберг И.В., Опокина О.Л.;Никулина Е.Л. Криолитологическое строение первой террасы острова Белый в Карском море: микростроение и признаки криолитогенеза (часть 2) // Криосфера Земли . № 1. с. 12-22.
5. Слагода Е. А., Курчатова А.Н., Опокина О.Л.,Томберг И.В.'Ходжер Т.В., Фирсова А.Д., Родионова Е.В., Попов К.А., Никулина Е.Л.
Криолитологическое строение первой террасы острова Белый в Карском море: геокриолоигческая история и изменения природных условий (часть 3) // Криосфера Земли . № 3. С.33-45.
6. Опокина О.Л., Слагода Е.А. Томберг И.В. Суслова М.Ю., Фирсова А.Д., Ходжер Т.В. Жученко Н.А. Колебание уровня моря и их отражение в составе и строении полигонально-жильныхльдов в низовьях Енисея.// Лёд и снег. 2014. № 4. С. 82-90.
7.Слагода Е.А. Ермак А.А. Дешифрирование экзогенных процессов типичных тундр полуострова Ямал на примере территории района Среднего течения реки Юрибей // Вестник Тюменского государственного университета. 2014. № 4. Науки о Земле. С. 28-38.
Электронные публикации и конференции
1. Опокина О.Л., Слагода Е.А., Курчатова А.Н. Вторично промерзшие таберальные отложения Западного Ямала (на примере Марре-Сале) // Современные и прогнозируемые изменения природных условий в высоких широтах. Тезисы конф. Сочи, 2013. С.50. - http://polar2013.ru/index/tezisy/0-14
2. Слагода Е.А., Опокина О.Л., Курчатова А.Н., Попов К.А., Томберг И.В., Фирсова А.Д., Родионова Е.В., Ермак А.А. Следы термокарста в разрезах Карского региона: признаки таберальных отложений // Современные и прогнозируемые изменения природных условий в высоких широтах. Тезисы конф. Сочи, 2013. С.56. - http://polar2013.ru/index/tezisy/0-14
3.Слагода Е.А., Опокина О.Л., Курчатова А.Н. Рогов В.В., Дроздов Д.С., Орехов П.Т., Крылов А.В., Ходжер Т.В., Томберг И.В. Жученко Н,А. Фирсова А.Д., Родионова Е.В. Результаты комплексного изучения отложений острова Хейса (ЗФИ) Конференция» Современные

тенденции природных процессов в полярных регионах Земли и переспективы российских полярных исследований. Г. Сочи 6-8 октября. 2014. http://polar2014.ru/index/tezisy/0-14
4. Опокина О.Л., Слагода Е. А., Курчатова А.Н. К вопросу о возрасте отложений Западного Ямала с подземными льдами различного генезиса. - Конференция» Современные тенденции природных процессов в полярных регионах Земли и переспективы российских полярных исследований. Г. Сочи 6-8 октября. 2014. http://polar2014.ru/index/tezisy/0-14

Отчет по **блоку 3. Термокарст и преобразование мерзлых толщ на рубеже неоплейстоцена-голоцена: структура, состав льдов и отложений таберированых комплексов.**

Ответственные исполнители: д.г.-м.н. Слагода Е. А., к.г.-м.н. Курчатова А.Н.

Раздел 1. Особенности седиментогенеза и криолитогенеза отложений о.Хейса, ЗФИ.

Позднечетвертичный литогенез донных и прибрежно-морских осадков необходимо изучать для более достоверных реконструкций палеоклиматических изменений природной среды, колебаний уровня моря и неотектонических движений. Возраст и состав морских отложений островов и Западно-Арктического шельфа остаются недостаточно изученными, особенно последствия процессов промерзания и протаивания, преобразующих осадки на стадии раннего диагенеза.

На о. Хейса архипелага ЗФИ, скважинами, пробуренными в 2010 г., вскрыты отложения морской террасы высотой 20 м и наклонной поверхности в зоне отступания ледника «Гидрографов», высотой 30 м. По керну скважин глубиной до 10 м охарактеризованы льдистость, криогенные текстуры и температура мерзлых отложений о. Хейса. Определены засоленность и состав водорастворимых солей, гранулометрия пород с выделением крупнообломочной (>1.0 мм), песчаной (1.0-0.05 мм), алевритовой (0.05-0.005 мм) и пелитовой (<0.005 мм) фракций. Микротекстуры отложений, особенности минералогического состава определены в шлифах и ориентированных монолитах с применением оптической и электронной микроскопии.

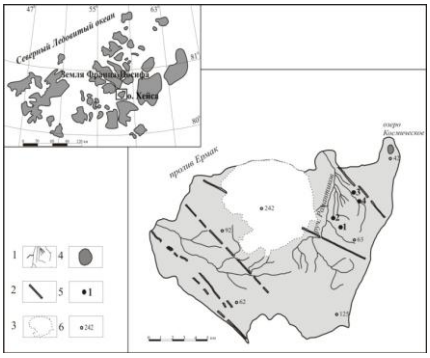
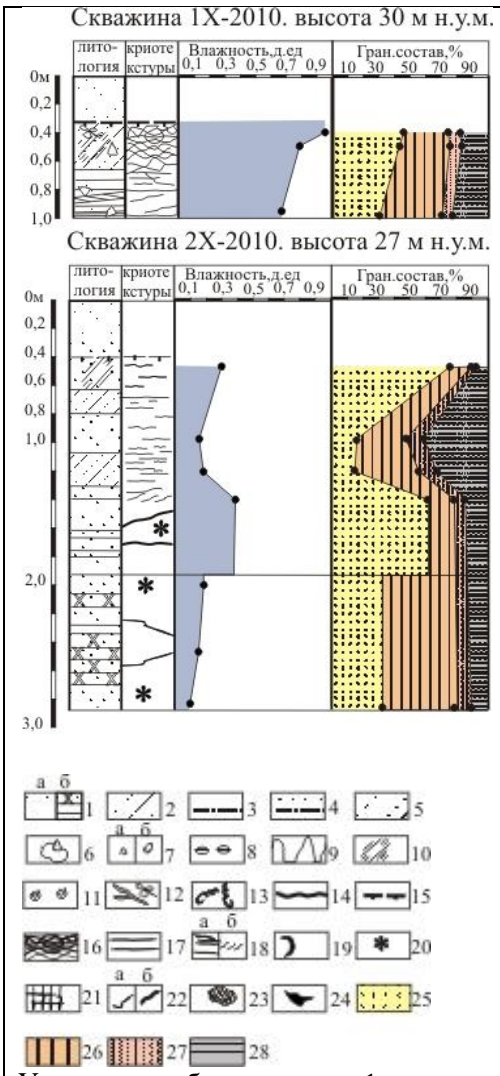


Рис. 1.1. Район исследований и расположение скважин на о. Хейса, ЗФИ.



Условные обозначения: 1 - пески (а), песчаники (б); 2 - суглинки, супеси; 3 - супеси песчаные; 4 - пески слоистые ; 5 - пески с наклонной слоистостью; 6 - гнезда, прослои желтых супесей; 7 - дресва, галька; 8 - окатыши глин; 9 – криотурбации; 10 - охристые пятна; 11 - раковины; 12 – растите-льные остатки; 13 – ходы полихет; 14 - границы размыва; 15 - граница мерзлых грунтов; криотекстуры: 16 - атакситовая, сетчатая; 17 – гори-зонтальная слоистая; 18 – линзо-видная;19 - корковая; 20 – массив-ная; 21 - решетчатая; 22 - косая шлировая тонкая и толстая; 23 – базальная; 24 - линза льда; грансостав: 25 - 1,0-0,05; 26 - 0,05-0,01; 27 - 0,01 - 0,005; 28 - <0,005

рис. 1.2 Разрезы скважин 1Х,2Х.

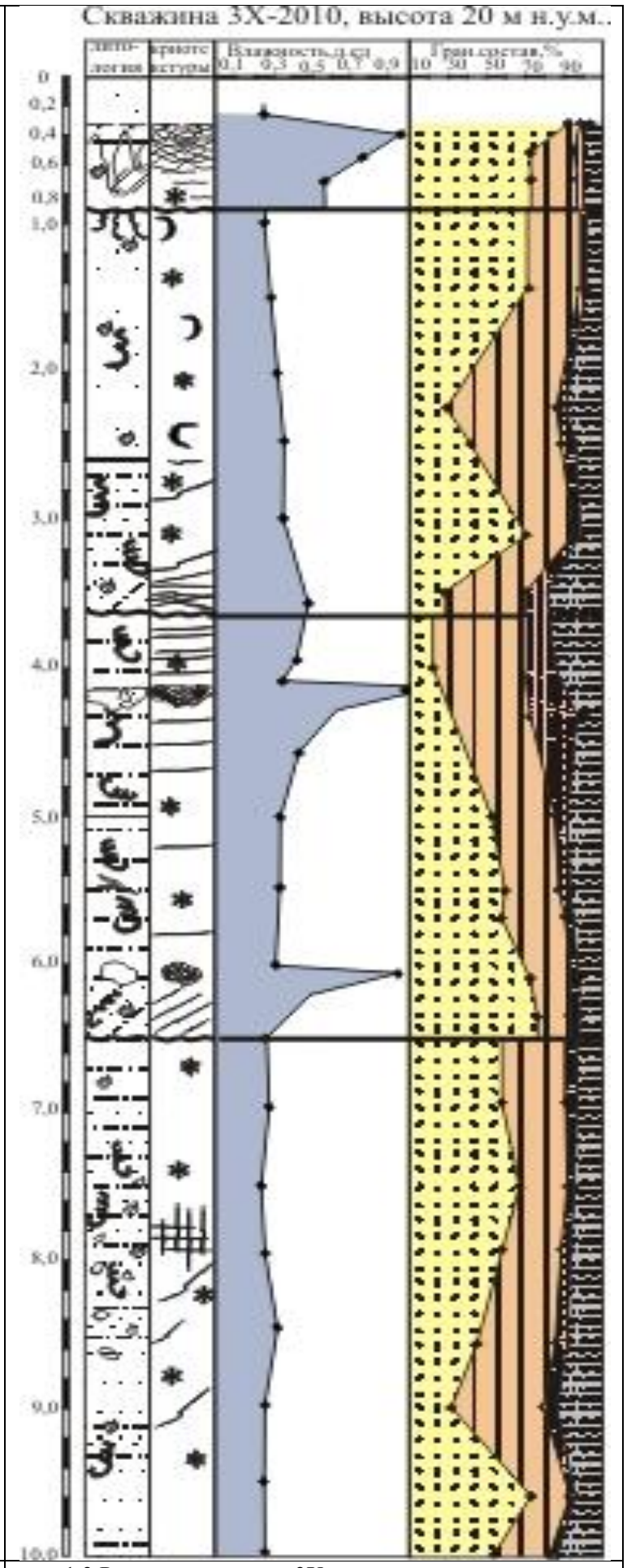


рис. 1.3.Разрезы скважины 3Х.

В строении 20-метровой террас, (скв.3Х) установлены мерзлые засоленные прибрежно-морские и ледово-морские отложения (рис. 1.3., табл.1.1.), с фауной морских моллюсков, ходами полихет и переотложенными плейстоценовыми раковинами, мезозойскими спорами и пыльцой. Радиоуглеродные датировки целых раковин подтвердили раннеголоценовый возраст морских отложений 9,8-7,1 тыс. лет.

В строении морской террасы по криогенному строению и влажности выделены сезонно-талый слой (4) с талой и мерзлой частями и переходный слой. Нижележащие многолетнемерзлые отложения нижней пачки (слой 1) имеют по криогенному строению и текстурам отнесены к однократно эпигенетически промерзавшей толще, несут признаки интенсивных биотурбаций, химического выветривания и коррозии обломков, отмечены только единичные обломки разбитые трещинами (Рис. 1.4, 1.5). Отсутствие трещин в обломочных зернах также указывает на слабое проявление криогенного растрескивания, криогенные пустоты секут биотурбации, слоистость и агрегаты, что характерно для эпигенетически промерзавших пород. Наличие простых и реже, сложных, глинистых агрегатов может быть связано с режимом накопления в холодных морских заливах. В условиях нормальной солености при отрицательной температуре до –1,8 град., засоленные осадки не содержат включений льда, но в условиях разгрузки айсбергов в заливе может происходить как опреснение придонной воды, так и периодическое охлаждение с выделением ледяных шлиров в осадке. Для решения этих вопросов нужны дополнительные исследования.

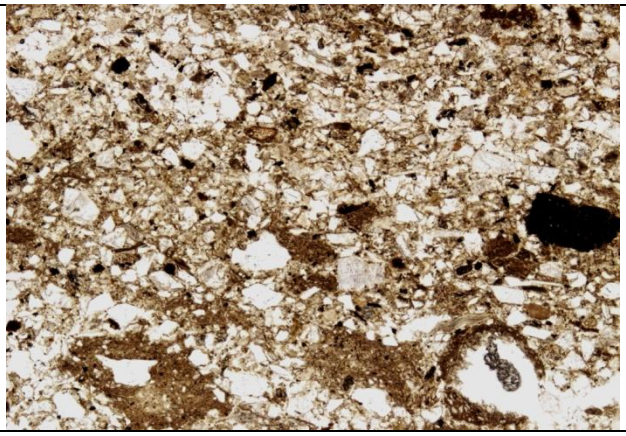


рис. 1.4. В обломках кварца, шпатов трещины не выражены. Супесь с обломками аргиллитов, окатышами глин (гл. 10 м). Фото шлифа.

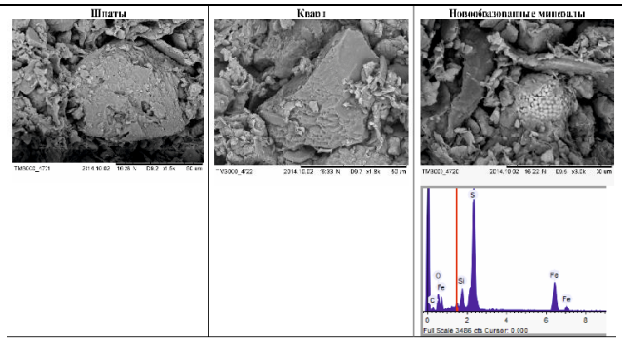
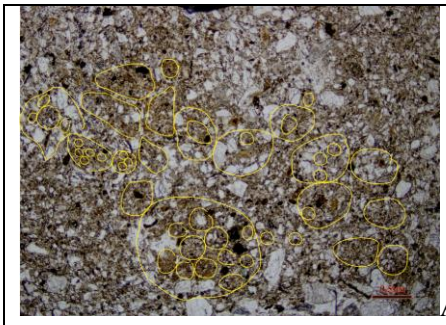
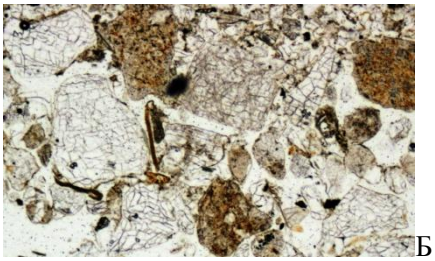
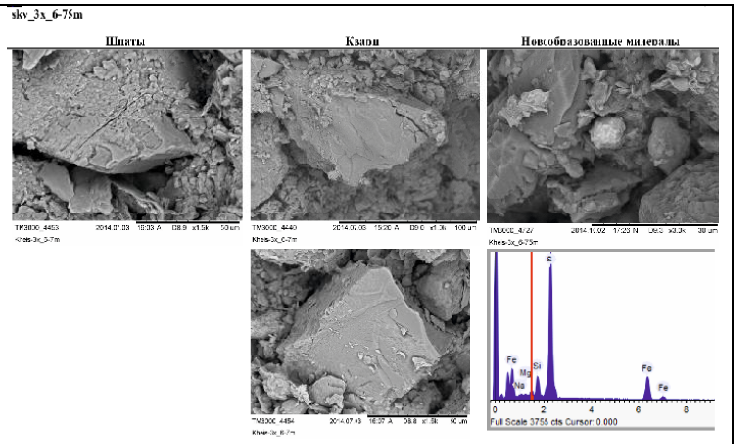


Рис.1. 5. Отсутствие трещин в обломках, корродированная поверхность частиц, новообразования марказита. Фото СЭМ.

Обломок внизу справа 2 мм.	

Отложения верхних пачек (слои 2,3) несут на всех уровнях организации обломочного материала и захоронения органических остатков макро- и микропризнаки сингенетического промерзания в прибрежно-морских и субаэральных условиях. В отложениях слоёв 2,3,4 установлены многочисленные сложные разнопорядковые агрегаты и кольцевые микротекстуры обломков, выражены интенсивная криогенная трещиноватость зерен, раковистые сколы кварца и шпатов, единичные новообразования карбонатов и сульфидов железа, что свидетельствует о цикличном промерзании-оттаивании и быстром переходе в многолетнемерзлое состояние (рис. 1.6, 1.7).

Следов протаивания связанных с образованием таликовых зон в отложениях морских и нагорных террас о. Хейса не выявлено.

 А  Б	
рис. 1.6 Агрегатно-кольцевые микротекстуры супеси (А) (слой 3, глубина 5,4-5,6м), и трещиноватость зерен шпатов, кварца (слой 2,глубина 1,0 м); фото шлифов, оптический микроскоп.	рис. 1.7 Остроугольные формы и трещиноватость зерен шпатов в супесях (глубина 5,4-5,6м, с. 3Х), фото реплики, СЭМ.

В отложениях долины ручья, врезанного в морскую террасу, выделены аллювиально-морские сингенетически промерзавшие отложения, с характерными сетчатыми слоистыми криотекстурами. Перекрывающие их эоловые и склоновые пески включают линзы льда – остатки захороненных снежников. В этих засоленных отложениях, вместе с переотложенными раннеголоценовыми

раковинами, присутствуют кости китов, их предполагаемый возраст - поздний голоцен.

В отложениях наклонной поверхности высотой 30 м в зоне отступания пассивного ледника «Гидрографов», выделены сингенетически промерзавшие склоновые отложения с остатками растительности, флювиальные песчаные отложения и криогенный элювий мезозойских песчаников и алевролитов с признаками интенсивного криогенного дробления, как на макро, так и на микроуровне (рис. 1.8).

Рис. 1.8. Криогенное выпучивание, растрескивание песчаников, аргиллитов на поверхности субаэральной дельты временных водотоков от снежников. О.Хейса.

табл 1.1. Состав водорастворимых солей мерзлых отложений о. Хейса, ЗФИ.

Скважина	Глубина, м	**Содержание ионов %-экв**						
		HCO_3	Cl	SO_4	Ca	Mg	K	Na
2X	0,6	12,1	60,4	27,5	2,3	8,1	2,1	87,5
	1,2	5,9	65,0	29,1	0,7	4,4	1,7	93,2
	2,5-2,55	6,9	51,8	41,3	1,3	6,7	2,4	89,6
3X	1,4-1,5	4,2	74,9	20,9	3,9	7,3	3,9	84,9
	2,2-2,27	0,7	86,4	12,9	2,9	6,7	2,7	87,7
	3-3,2	0,7	88,3	11,0	2,5	4,9	2,1	90,5
	5,0	0,7	87,4	11,9	2,2	6,7	2,5	88,6
	6,35-6,4	0,8	88,3	10,9	2,5	6,1	2,6	88,8
	8,5-8,6	0,6	87,6	11,8	3,2	5,1	2,2	89,5

Полученные данные свидетельствуют, что в голоцене о. Хейса не был полностью закрыт ледником. На протяжении голоцена в пределах острова происходил размыв плейстоценовых и мезозойских отложений, накопление и промерзание ледово-морских, прибрежно-морских осадков в постепенно

мелеющих заливах, разгрузка ледника в море и сокращение его площади. Следов термокарстовых процессов, сопровождавших накопление морских и субаэральных отложений не выявлено.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы ОНЗ-12, грантов РФ НШ-3929.2014.5, РНФ № 14-17-00131.

Раздел 2.

Установлены следы термокарста в разрезе I- терассы о. Белый Карского моря виде псевдоморфоз, макро- и микростоения отложений, деформаций седиментанционной слоистости. Построена последовательность природных изменений. В конце сартанского периода трансгрессия моря достигла о-ва Белый, спровоцировала термокарст, просадки и размыв отложений 2-й террасы отделение острова от Ямала. В первой половине голоцена, на фоне понижения и незначительных колебаний уровня моря происходило накопление, сингенетическое промерзание осадков низкой террасы, рост полигонально-жильных льдов, вторичное промерзание и деформирование талых засоленных пород цоколя. Во второй половине голоцена в обстановки лайды продолжалось накопление отложений 1-й террасы, при этом возникали локальные условия для кратковременного локального проявления процесса термокарста и просадок. В конце голоцена процессы термокарста были вызваны ингрессий моря в понижения поверхности 1-й террасы.

Изучено криолитологическое строение первой террасы о. Белый в Карском море. Установлены различия макро- и микростроения синкриогенных и эпикриогенных засоленных отложений. Выявлены признаки таберальных образований: посткриогенные деформации и текстуры, фрагменты псевдоморфоз, свидетельствующие о процессах протаивания синкриогенных отложений. В строении террасы, кроме синкриогенных и эпикриогенных, по типу промерзания выделены парасинкриогенные отложения.

Криогенные процессы участвуют в развитии и трансформации природной среды Арктики, что приводит к формированию специфических комплексов отложений, отличающихся по условиям и обстановкам промерзания [Катасонов,

1972]. В то же время признаки криолитогенеза в осадочных толщах малоизвестны и недостаточно применяются при палеореконструкциях субаквальной криолитозоны [Winterfeld et al., 2011]. При интерпретации строения мерзлых толщ нужно учитывать закономерности проявления криолитогенеза на разномасштабных уровнях. Анализ состава и микростроения засоленных мерзлых отложений важен для обоснования стадийного развития процессов криолитогенеза в прибрежно-морской обстановке. При реконструкции истории промерзания толщ необходимы объективные критерии для выделения син-, эпи-, диа- и парасинкриогенных отложений, отражающих мерзлотно-фациальные типы криолитогенеза [Катасонов, 1972; Шур, 1988; Романовский, 1993; Ершов, 2002; Зайончек, Усов, 2003; Каневский и др., 2005; Баду, 2010; Каплина, 2011а,б].

Циклическое промерзание – протаивание в деятельном слое необратимо преобразует вещественный состав и структурно-текстурную организацию породы на макро- и микроуровнях [Конищев, 1981; Конищев, Рогов, 1985; Микростроение.., 1988; Рогов, 2009]. Признаки микростроения и новообразованные минералы син-, эпикриогенных отложений и таберальных образований, выявлены в ледовом и аласном комплексах Якутии и Приморских низменностей северо-востока России [Строение…, 1979, Губин, 2002; Зигерт, 1981, Зигерт, Слагода, 1990; Слагода, 1991]. Особенности пород таберальных образований [Каплина, 2011б], сохранившие признаки криогенного строения после протаивания (посткриогенные) и вторичного промерзания, использованы для реконструкции истории изменения криогенного строения отложений.

Район и методы исследований

В строении первой прибрежно-морской террасы на северо-западе о. Белый (рис. 2.1) выделены сезонно-талый слой и многолетнемерзлые отложения: суглинистый цоколь и верхняя песчаная часть, различающиеся по льдистости и засоленности [Слагода и др., 2013]. Криолитологические исследования на макроуровне дополнены анализом гранулометрического и химического состава пород и минералов, их микростроения в шлифах из ориентированных монолитов, (оптическая и сканирующая электронная микроскопия). Это позволило

использовать структурно-текстурные и фациально-генетические особенности, как криогенные признаки.

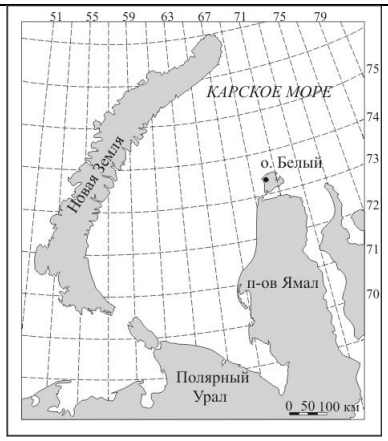


Рис. 2.1. Район исследований.

Эта методика апробирована при исследовании мерзлых толщ Приморских равнин Арктики [Slagoda, Kurchatova, 2008]. Для синкриогенных отложений характерны многопорядковая агрегатность обломочного и тонкодисперсного материала, тонкослоистые и сетчатые криогенные текстуры, трещиноватость минеральных зерен, слабые смещения компонентов породы относительно седиментационной текстуры. В эпикриогенных породах присутствуют слоистые, решетчатые и наклонные ломаные криогенные текстуры, унаследованные или наложенные на седиментационную слоистость и диагенетические текстуры. Контакты льда с породой имеют каймы ожелезнения, зоны концентрации или обеднения тонкодисперсным материалом. В отложениях таберальных комплексов макро- и микроморфологические признаки син- и эпигенетического промерзания сохраняются в виде раннедиагенетических посткриогенных текстур и деформаций [Слагода, 2005].

Результаты исследований

Характеристика прибрежно-морских отложений первой террасы приведена на рисунке 2.2. Породы цоколя имеют глинистый состав (медиана, M_d=0,018-0,036 мм) и среднюю степень сортировки (S_o=2,3-2,4). В верхней части разреза преобладают хорошо сортированные тонкие и мелко-тонкозернистые пески (M_d=0,046-0,094 мм, S_o=1,4-1,5). Терригенные частицы разной формы и окатанности, включают кварц, полевые шпаты, микроклин, хлорит, мусковит,

Рис. 2.2. Сводный криолитологический разрез скважин первой морской террасы, о. Белый, Карское море. Условные обозначения: 1 - пески (а), пылеватые пески (б); 2- супеси; 3 - суглинки; 4 - торф автохтонный (а), аллохтонный (б); 5 - корешки растений in situ (а), намытые растительные остатки (б); 6 - пятна, полосы охристые (а), сизые, черные (б); 7 - границы достоверные и предполагаемые: литологические (а), ожелезненные (б); 8 - границы мерзлых пород: современные (а), реликтовые (б); 9 - полигонально-жильный лед; криогенные текстуры: 10 - линзовидные, толсто- и тонкошлировые (а), вертикальные, наклонные ломаные (б); 11- ячеистые, сетчатые толстошлировые тонко- и микрошлировые (а), неполнорешетчатые, решетчатые (б); 12 - гнездовые (а), атакситовые, базальные (б); 13 - посткриогенные текстуры (а), вертикальная деформированная слоистость(б); 14 - типы промерзания отложений: а - сезонно-талые; б - синкриогенные, в - парасинкриогенные, г - эпикриогенные; 15 - засоленность пород, D_{sal} (а), гранулометрический анализ: медиана, M_d (б), сортированность, S_0 (в), ориентированные монолиты и шлифы (г); 16 - номер фотографии шлифа и сканирующего электронного микроскопа (СЭМ): а - на рис. 4.2, б - на рис. 5.2, в - на рис. 6.2, г - на рис. 7.2.

биотит, гнейсы, кварциты. В тяжелой фракции магнетит преобладает над титанистыми минералами, эпидотом, роговыми обманками и пироксенами, поступавшими из Урало-Новоземельской минералогической провинции [Крутоярский, 1975; Levitan et. al., 1999].

В песках (гл. 1,5 м) присутствуют металлические шарики до ~50 мкм, состоящие из магнетита без примесей (рис. 3.2). Они имеют игольчато-, неполно- и полнокристаллическую структуру, представляющие фазы кристаллизации магнетита и идентичны микросферам из метеоритного кратера Мораска [Stankowski et. al., 2006]. Рельефная поверхность шариков и отсутствие примеси титана характерны для метеоритной пыли, что отличает их от вулканической пыли [Szoor et al., 2001; Корчагин и др., 2010].

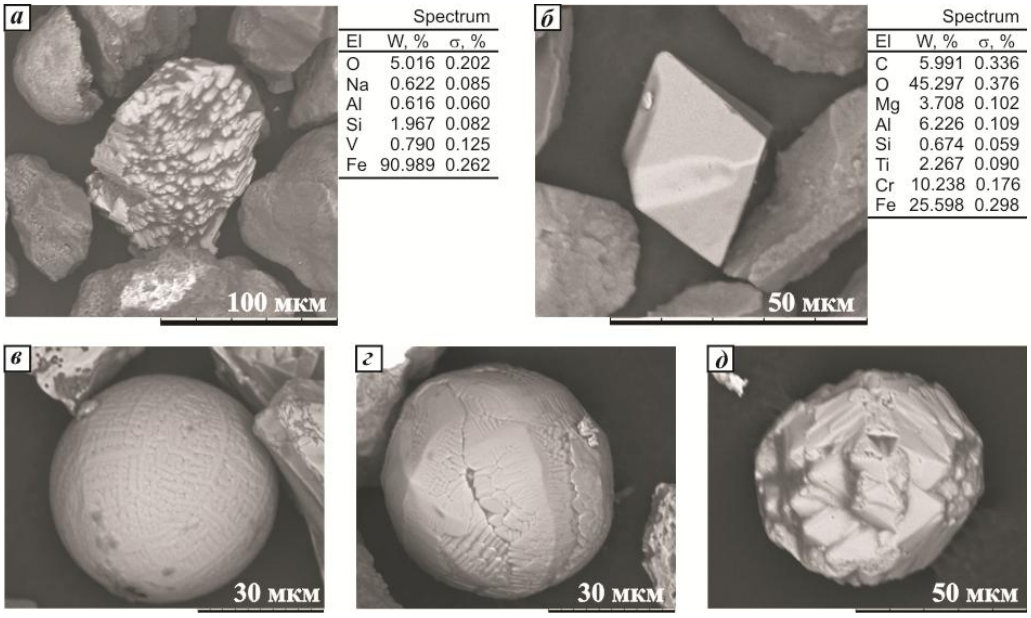


Рис. 3.2. Магнитная фракция из отложений террасы о. Белый (скв. ОБ2, гл. 1,5 м): терригенные минералы: ***а*** - магнетит; ***б*** - хромомагнетит; метеоритные микросферы магнетита : ***в*** - игольчато-кристаллическая структура, ***г*** - полигонально-кристаллическая структура, ***д*** - сросток кристаллов.

Органические остатки имеют разную сохранность и смешанный состав, характерный для прибрежно-морских условий: иглы ежей, спикулы губок, ходы и стяжения разложенных илоедов, обломки карбонатных раковин и остракод, мшанок, диатомовых, растительный детрит и остатки мхов.

Отложения цоколя террасы с массивными, наклонными ломаными и решетчатыми криотекстурами отличаются плотным сложением, сизо-серым цветом и охристыми каймами на контакте с ПЖЛ (см. рис. 2.2). В керне в

мерзлом состоянии выявлены многочисленные деформации слоистости, трещины с песчаным заполнителем [Слагода и др., 2013].

На микроуровне в отложениях выражена седиментационная параллельная тонкая и линзовидная слоистость. Характерны деформации - вертикально-волнистая слоистость с выклиниванием прослоев вниз по разрезу, с разрывами, пережимами и расширениями слоев (рис. 4.2, ***а, д***). Многочисленные жилки и затеки в глинистых слоях заполнены песчаными зернами и образуют рисунок, соответствующий линзовидно-сетчатым посткриогенным текстурам. Трещины замкнуты или заполнены ориентированными обломками, местами имеют кайму (0,25-0,3 мм) гидроокислов железа и отличаются от ходов илоедов в глине, которые выложены более крупными окатанными песчаными зернами (см. рис. 4, ***б, е, ж***). На контакте глин и песков встречаются микродайки и следы бокового вдавливания частиц. Это следы растяжения и сжатия, неравномерного смещения компонентов породы вниз, вверх и по латерали (см. рис. 4.2 ***а, г, д***).

Слои и блоки отложений имеют фестончатые границы (что обусловлено многопорядковой агрегатной микротекстурой (размер агрегатов 0,05-0,35 мм, см. рис. 4.2, ***а, б, д***). Обломочные частицы образуют кольца вокруг агрегатов и ориентированы по отношению к центру параллельно-концентрически, реже под углом (черепитчатая укладка, см. рис. 4.2, ***г***). Частицы имеют плотную упаковку и покрыты пленками гидрослюд, встречается трещиноватый кварц (см. рис. 4.2, ***з***). Тонкодисперсная масса имеет перекрестно- и параллельно-волокнистое строение в слоях, обогащенных детритом (см. рис. 4.2, ***в***). Растительные остатки замещены гидрослюдами, гидроокислами и сульфидами железа, выявлены сростки бесцветных и желтых карбонатов, стяжения микроглобул сидерита и сульфидов железа, конкреции и выделения вивианита (рис. 5.2, ***в-ж, к***).

Отложения цоколя имеют в целом высокую засоленность (0,5-0,6%) и слабую контрастность содержания солей в глинах и песках (см. рис. 2.2). В составе солей преобладают хлориды (до 80%), сульфаты составляют до 25%, гидрокарбонаты 3-5%, что характерно для морского типа засоления.

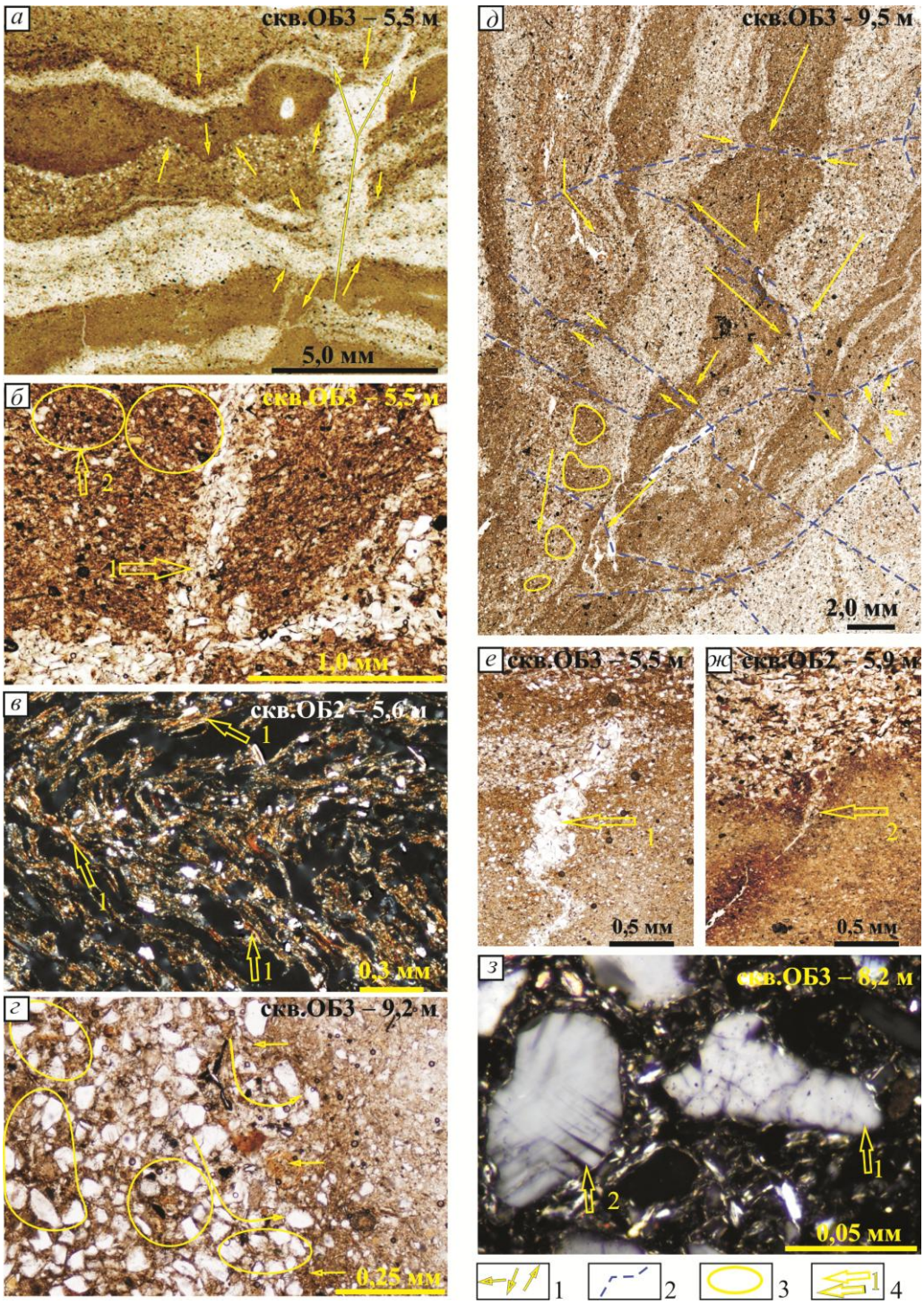
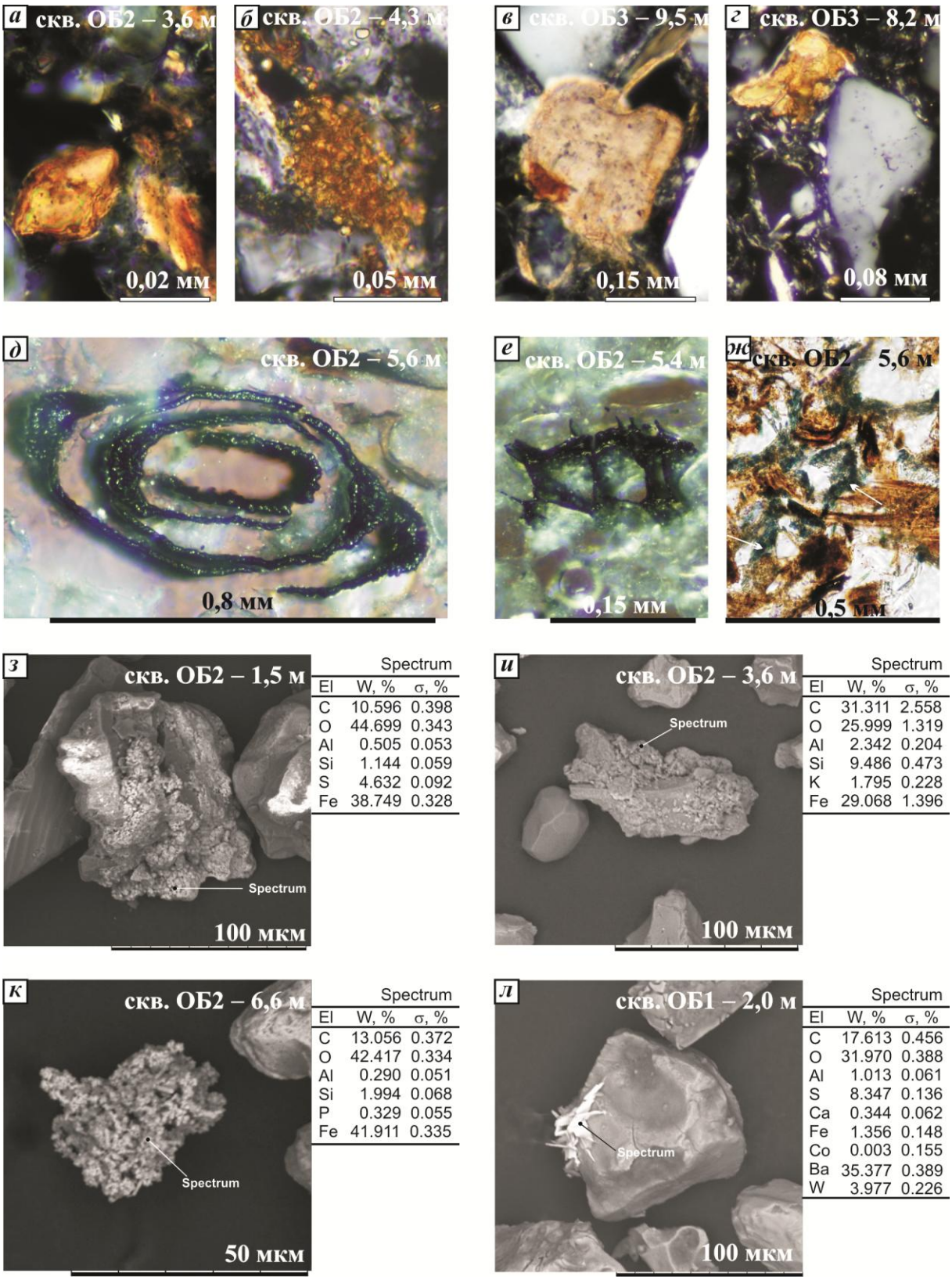


Рис. 4.2. Микростроение эпикриогенных прибрежно-морских отложений.
Условные обозначения: 1- направления смещения компонентов породы; 2 - зоны ориентированных обломочных частиц, заполнивших трещины и пустоты от вытаявшего льда; 3 - агрегаты, блоки основной массы породы; 4 - указатель и номер компонента.
а - смещения слоев, залеченные трещины, микродайки песка в прослоях глин и пылеватых песков; ***б*** - посткриогенные трещины, заполненные обломками (1), блоково-агрегатная микротекстура (2); ***в*** - параллельно-волокнистая структура глинистой массы (скрещенные (Х) николи), удлиненные волокна глин (1); ***г*** - деформированные кольцевые микротекстуры обломков и следы бокового вдавливания частиц в глины; ***д*** - вертикально-волнистая микрослоистость, осложненная вертикальными и боковым смещениями компонентов породы; ***е*** - ход илоеда, выполненный окатанными обломками (1); ***ж*** - залеченные посткриогенные трещины с железистой каймой и затеками обломков (2); ***з*** - трещиноватый кварц (1) и неразрушенный микроклин (2).



Spectrum		
El	W, %	σ, %
C	10.596	0.398
O	44.699	0.343
Al	0.505	0.053
Si	1.144	0.059
S	4.632	0.092
Fe	38.749	0.328

Spectrum		
El	W, %	σ, %
C	31.311	2.558
O	25.999	1.319
Al	2.342	0.204
Si	9.486	0.473
K	1.795	0.228
Fe	29.068	1.396

Spectrum		
El	W, %	σ, %
C	13.056	0.372
O	42.417	0.334
Al	0.290	0.051
Si	1.994	0.068
P	0.329	0.055
Fe	41.911	0.335

Spectrum		
El	W, %	σ, %
C	17.613	0.456
O	31.970	0.388
Al	1.013	0.061
S	8.347	0.136
Ca	0.344	0.062
Fe	1.356	0.148
Co	0.003	0.155
Ba	35.377	0.389
W	3.977	0.226

Рис. 5.2. Новообразованые минералы прибрежно-морских отложений террасы:
а-г - карбонаты (Х николи); ***д*** - замещение растительного остатка сульфидом железа (в отраженном свете); ***е*** - выделения сульфида железа, цементирующие обломки (в отраженном свете); ***ж*** - скопление вивианита вокруг растительного детрита; ***з*** - микроагрегаты сульфида железа (СЭМ); ***и*** - сидеритовая корка вокруг обломков (СЭМ); ***к*** - коллоидное скопление вивианита и сидерита (СЭМ); ***л*** - звездчатые сростки барита на обломке (СЭМ).

Отложения верхней части террасы сингенетически промерзавшие, с сетчатыми, тонко-линзовидными криотекстурами и ПЖЛ характеризуются на макроуровне четкой разнонаправленной слоистостью, в песках с охристыми пятнами. На микроуровне седиментационная слоистость с разрывами по шлирам льда слабо нарушена смещениями и внедрениями компонентов породы. В пылеватых песках криогенные пустоты линзовидные, толщиной 0,3-0,8 мм, с извилистыми, слабо уплотненными краями (рис. 6.2 ***а, б***), местами обогащены обломками. В песках открытые или сомкнутые трещины смещают края слоев и соответствуют (по ориентировке и соотношению с блоками породы) сетчатым и линзовидным криотекстурам (см. рис. 6.2, ***д, е***). Суглинистые слои разбиты на блоки (5-15 мм) косыми и вертикальными мелкими (1-3 мм) затеками пылеватых частиц.

Во всех литологических разностях присутствуют многопорядковые агрегатно-кольцевые микротекстуры. Агрегаты округлой и уплощенной формы (0,3-0,5 до 2,5 мм) сложены элементарными агрегатами глин (0,02-0,05 мм). Кольцевые микротекстуры образованы скоплениями рыхло упакованными обломков вокруг агрегатов разного размера. Обломки в них ориентированы хаотично, радиально или концентрически по отношению к агрегатам (рис. 6.2, в, ж, з). Среди обломков встречается трещиноватый кварц.

Тонкодисперсная масса имеет хаотичное и тонковолокнистое строение (см. рис. 6.2, ***г***). Растительные остатки свежие изотропные и замещенные новообразованиями.

Новообразованные минералы включают: светло-, темно-желтые карбонаты в виде кристаллов, их сростков и стяжений (до 0,1мм) в глинистой массе; стяжения гидроокислов железа в стенках пустот; сульфиды железа в виде почковидных, игольчатых сростков (0,03 мм), удлиненных и округлых стяжений (0,02-0,1 мм), реже, мелких кубиков пирита (см. рис. 5.2, ***а, б, и, з***).

Засоленность отложений (0,3-0,5%) заметно снижается вверх по разрезу по сравнению с отложениями цоколя; в песчаных прослоях она выше, чем в глинистых, а отложения сезонно-талого и переходного слоев опреснены (см. рис.

2.2). В составе легкорастворимых солей повышается содержание бикарбонатов (от 3-5 до 20 %) и уменьшается - хлоридов (с 90 до 30%), на фоне повышенного содержания сульфатов; среди катионов преобладает натрий, кальция больше, чем магния, что указывает на увеличение роли пресных вод при накоплении и промерзании осадков.

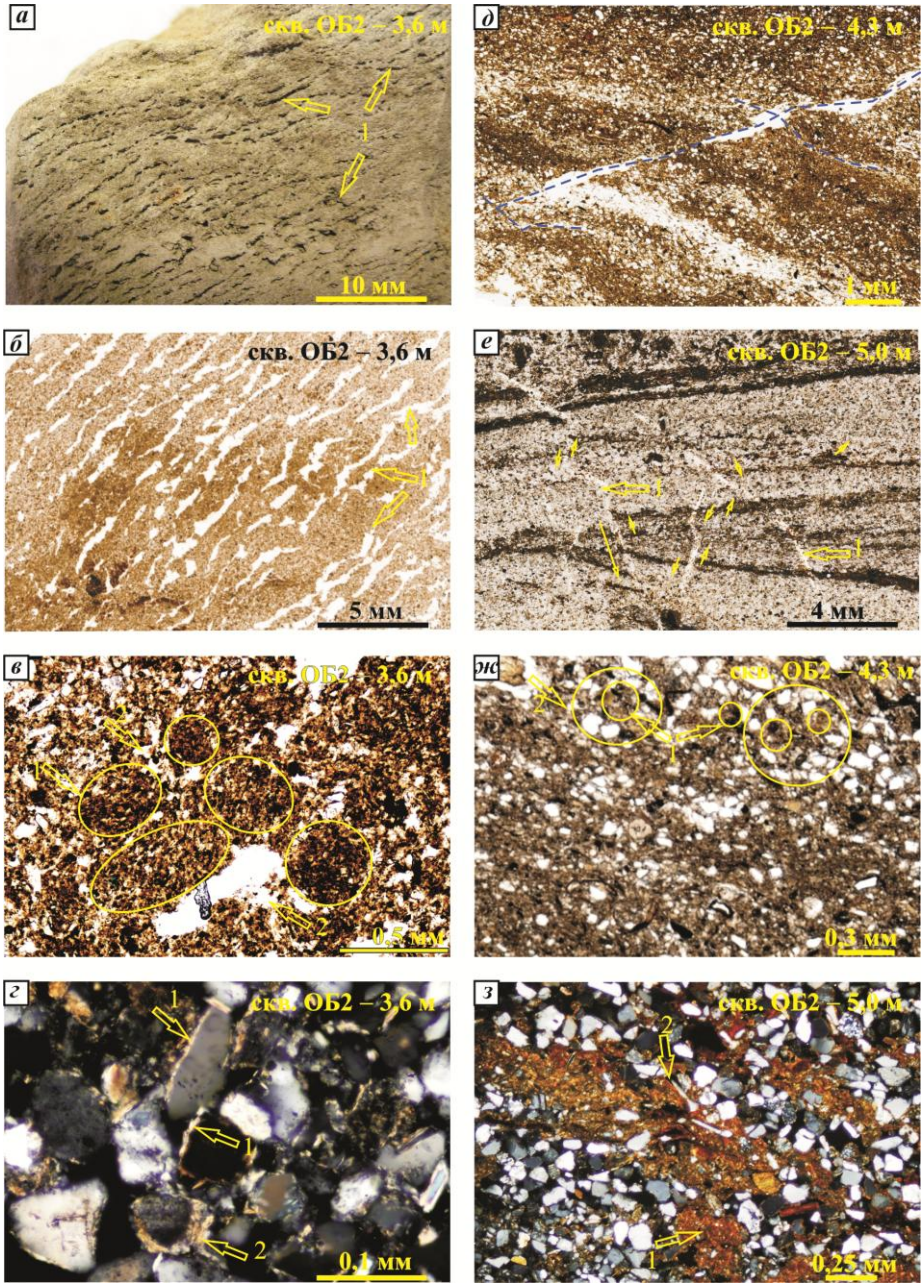


Рис. 6.2. Микростроение синкриогенных прибрежно-морских отложений.
а - плойчатая криотекстура: пустоты от шлиров льда (1), секущие горизонтальную слоистость в ориентированном монолите, ***б*** - то же в шлифе; ***в*** - многопорядковая агрегатная микротекстура (1) с пустотами от льда-цемента в межагрегатных пространствах (2); ***г*** - пленки гидрослюд (1) и корочки карбонатов (2) на обломках породы; ***д*** - линзовидная криотекстура: шлиры, секущие косую слоистость; ***е*** - неполносетчатая криотекстура: сомкнутые трещины (1) от вытаявших шлиров льда смещают слоистость; ***ж*** - агрегатные микротекстуры основной массы (1) и кольцевые микротекстуры обломков (2); ***з*** - гидроокислы железа (1), заполняющие кольцевые микротекстуры обломков, в центре - спикулы губок (2). Условные обозначения см. на рис. 4.2.

В строении верхней части террасы выделены уплотненные пачки отложений (см. рис. 2.2, скв. ОБ2, гл. 2,5-3,5 м, скв. ОБ3 гл. 0,6-2,8 м, скв. ОБ4, гл. 0,5-3,2 м), которые в мерзлом состоянии характеризуются пестрой или сизой окраской за счет охристых и сизо-черных соединений железа, деформациями седиментационной слоистости - песчаными затеками, соответствующими вытаявшим первичным шлирам льда. Криотекстуры массивные, линзовидно-сетчатые, базальные и неполно-решетчатые, местами с косыми ломаными шлирами льда, секущие посткриогенные текстуры отложений. На микроуровне в отложениях выявлены заполненные песком извилистые жилки и трещины (толщиной до 2 мм), разделяющие тонкодисперсные слои на плитчатые и округлые блоки (от 2-8 до10-50 мм). Эти блоки смещены, перевернуты и изогнуты, что указывает на их неравномерную осадку во влажном состоянии (рис. 7.2 ***а,б***). Пачки, в целом, по многопорядковым агрегато-кольцевым микротекстурам, фестончатым контурам блоков сходны с синкриогенными отложениями и отличаются от них более плотным сложением, посткриогенными пустотами и хорошо окристаллизованой мелкочешуйчатой и хаотично-волокнистой тонкодисперсной массой. Органические остатки свежие (см. рис. 7.2 ***ж, з***) и замещенные. Новообразования представлены сульфидами железа, коллоидными соединениями гидроокислов железа, неравномерно пропитывающими агрегаты глин, рыхлыми корками сидерита (см. рис. 6.2, ***д***), сгустками лептохлоридов, звездчатыми стяжениями барита (см. рис.5.2,*и*, ***л***).

Засоленность этих пачек верхней части террасы ниже (<0,1-0,3%), чем выше и нижележащих отложений в скв. ОБ2 (гл. 0,8-2,5 и 3,5 - 5,0 м) и скв. ОБ3 (гл. 2,5-3,5 м), за исключением отдельных песчаных прослоев с концентрацией солей до 0,6%. Соотношение основных ионов аналогично, при этом содержание кальция и магния повышено (см. рис. 2.2).

Обсуждение результатов

Криолитологический анализ отложений террасы на макро- и микроуровнях выявил следующие структурно-текстурные характеристики.

Отложения верхней части террасы с ПЖЛ являются синкриогенными: - седиментационная слоистость хорошо выражена;

- присутствуют слоистые сетчатые и неполно-сетчатые криогенные текстуры, шлиры льда или трещины, пустоты, оставшиеся от вытаивания льда, разбивают слои на блоки и обеспечивают рыхлое сложение;

- раннедиагенетические многопорядковые агрегатно-кольцевые микротекстуры по расположению и форме соответствуют криогенным текстурам;

- обломки покрыты пленками гидрослюд; встречается трещиноватый кварц.

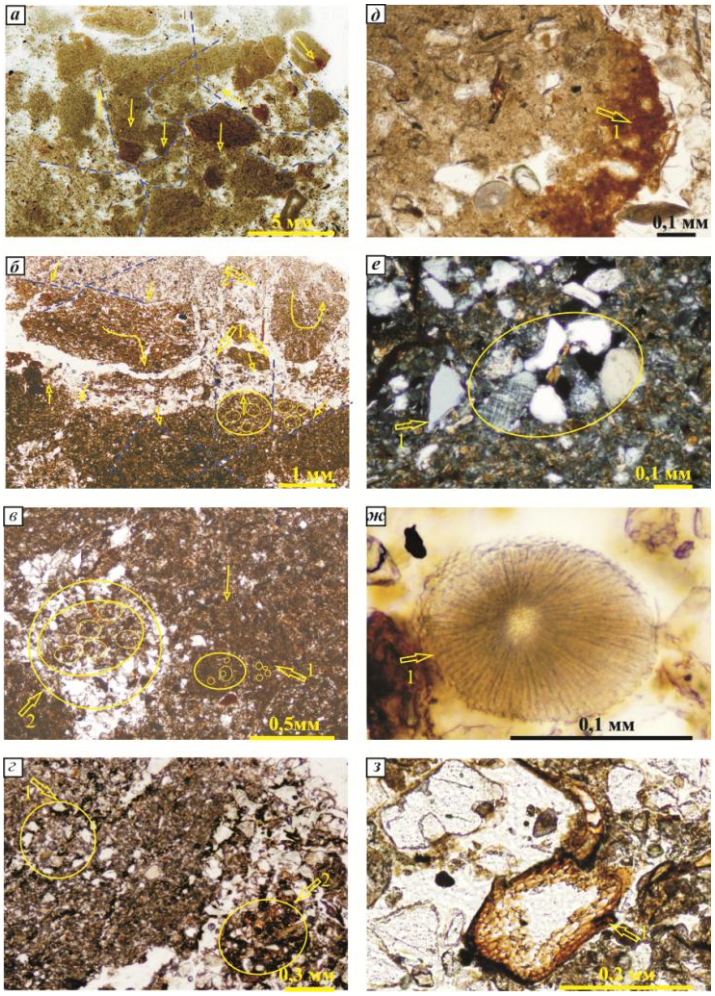


Рис. 7.2. Микростроение таберальных образований - аналогов синкриогенных прибрежно-морских отложений, скв. ОБ2, 2,8 м. Условные обозначения см. на рис. 4.2.

а - агрегатно-блочная текстура, деформированная протаиванием и просадкой; ***б*** - многопорядковая микротекстура с затеками обломков (1), детрита (2) и агрегатами; ***в*** - агрегатная микротекстура: элементарные агрегаты глин до 0,05 мм, сгруппированы в простые - до 0,2 мм и сложные - до 0,5 мм (1), деформированные кольцевые микротекстуры обломков в затеке (2); ***г*** - кольцевые микротекстуры обломков в тонкодисперсных блоках (1), стяжения гидроокислов железа (2) в затеке песка; ***д*** - неравномерное ожелезнение агрегата глин (1); ***е*** - кольцевая микротекстура обломков, оскольчатый кварц (1), (Х николи); ***ж*** - срез иглы морского ежа (1); ***з*** - остатки мха (1).

Эти особенности микростроения являются признаками циклического промерзания – протаивания, синхронного накоплению осадков, и, как показали наши исследования, сохраняются не только в субаэральных, но и в синкриогенных прибрежно-морских засоленных отложениях.

Отложения цоколя террасы существенно уплотнены. Тонкошлировые решетчатые, вертикальные и наклонные ломаные криогенные текстуры и внедряющиеся концы ПЖЛ соответствуют строению промерзавших сверху эпикриогенных толщ [Региональная криолитология, 1989; Мельников, Спесивцев, 2000]. Для них характерны наибольшие деформации седиментационной слоистости - смятия, перегибы и смещения. Трещины и затеки, заполненные плотноупакованным песчано-алевритовым материалом, по расположению соответствуют сетчатым, линзовидно-слоистым посткриогенным текстурам. На первичное криогенное строение отложений цоколя указывают также раннедиагенетические многопорядковые агрегатно-кольцевые микротекстуры, фестончатость границ, трещиноватость кварца - признаки синкриолитогенеза. Все это свидетельствует о преобразовании засоленных осадков циклическим промерзанием – протаиванием во время их накопления. Вертикально-волнистая макро- и микрослоистость прослежена во всех скважинах от кровли цоколя на глубину более 7 м, что свидетельствует о перемещении водонасыщенного грунта по вертикали и присутствии псевдоморфоз. Признаки, связанные с протаиванием, просадкой и уплотнением, позволяют отнести отложения к таберальным образованиям. Эти структурно-текстурные особенности цоколя обусловлены генезисом и первичным сингенетическим промерзанием осадков, протаиванием, вероятно, в субаквальных условиях и последующим эпигенетическим промерзанием засоленных, неравномерно обводненных таберальных образований.

Уплотненные песчаные отложения верхней части террасы (см. рис. 2.2, скв. ОБ2, гл. 2,5-3,5 м, скв. ОБ3, гл. 0,6-2,8 м, скв. ОБ4, гл. 0,5-3,2 м) имеют сходство со структурно-текстурными особенностями как эпикриогенных, так и синкриогенных отложений. Сетчатые посткриогенные текстуры, раннедиагенетические многопорядковые агрегатно-кольцевые микротекстуры

отложений связаны с их первичным синкриогенным строением. Деформации слоистости, незначительное смещение блоков и обломочных частиц, в основном вниз, свидетельствуют о неглубоком протаивании и просадке на месте. Следовательно, они являются таберальными аналогами синкриогенных отложений верхней части террасы.

Таберальные образования верхней части террасы в отличие от эпикриогенных пород цоколя менее уплотнены, имеют охристые вертикально-волнистые потеки, наложенные на все литологические разности, неравномерно засолены или опреснены, различаются по криогенному строению. Маломощная пачка отложений в скв. ОБ2 (гл. 2,5-3,5 м) - льдистая, засоленная, с неполно-сетчатыми криотекстурами и ожелезненным контактом с ПЖЛ; в скв. ОБ3 (гл. 0,6-2,8 м)- малольдистая, опресненная, с массивными решетчатыми, наклонными линзовидно-ломаными криотекстурами; в скв. ОБ4 (гл. 0,5-3,2 м) - засоленная, с атакситовыми и базальными криотекстурами, толстыми горизонтальными линзами льда (см. рис. 2.2). Такое распределение криотекстур и солей в разрезах характерно для промерзавших таликов при наличии мерзлого или глинистого водоупора [Строение.., 1979, Хименков, Брушков, 2003]. По типу криогенного строения таберальные аналоги синкриогенных отложений верхней части террасы отнесены к парасинкриогенным.

Заключение

На основе комплексного криолитологического анализа установлено, что прибрежно-морские засоленные отложения первой террасы о. Белый являются первично синкриолитогенными - имеют объективные структурно-текстурные признаки циклического промерзания-протаивания, и в разной степени были преобразованы протаиванием и последующим промерзанием.

Сингенетически промерзавшие отложения, преобразованные только сезонным промерзанием-протиаванием, обладают рыхлым сложением, соответствием рисунка криогенных текстур и многопорядковых сложных агрегатно-кольцевых микротекстур, слабыми деформациями седиментационной слоистости и первичной засоленностью.

Таберальные образования цоколя отличаются высокой степенью уплотнения и посткриогенными деформациями отложений, связанными с повсеместным протаиванием первичной синкриолитогенной толщи, ее проседанием. Криогенные текстуры и распределение солей в таберальных образованиях обусловлены эпигенетическим промерзанием.

Таберальные образования в верхней части террасы образуют маломощные обособленные парасинкриогенные пачки в синкриолитогенной толще, которые отличаются слабыми деформациями седиментационной слоистости, различными засоленностью и криогенными текстурами отложений, обусловленными промерзанием в неглубоких таликах.

Распределение отложений, отличающихся по типу промерзания, и таберальных образований в разрезах планируется использовать для реконструкций термокарста в прибрежно-морской обстановке о. Белый.

Работа выполнена по проектам МПГ, программам **23. Фундаментальные проблемы океанологии: физика, геология, биология, экология.** Подпрограмма: Комплексные исследования Арктического шельфа. Блок 23.6.: Криолитозона и Арктический шельф в условиях меняющегося климата: стабильность экосистем и газовые гидраты; пути захоронения органического вещества.; ОНЗ-12 «Процессы в атмосфере и криосфере…», Гранта Президента РФ НШ-5582.2012.5.

Литература

Баду Ю.Б. Криолитология: учебное пособие. М.: КДУ. 2010, 528 с.

Губин С.В. Педогенез - составная часть механизма формирования отложений позднеплейстоценового ледового комплекса // Криосфера Земли. 2002, Т. VI, № 3, С.82–91.

Ершов Э.Д. Общая геокриология. М.: Изд-во МГУ. 2002, 682 с.

Зайончек В.Г., Усов В.А. К вопросу о диагенетическом промерзании прибрежно-морских отложений // Вестник Санкт-Петербургского университета. Сер. 7. Геология, география. 2003, вып. 3 (№23), С. 83-86.

Зигерт Х.Г. Минералообразование в условиях вечной мерзлоты // Строение и тепловой режим мерзлых пород. Новосибирск: Наука. 1981, С.14-21.

Зигерт Х.Г., Слагода Е.А. Итоги криолитологических исследований ледовых комплексов Якутии // Четвертичная стратиграфия и события Евразии и Тихоокеанского региона. Якутск. ЯНЦ СО РАН. 1990, С. 82-84.

Каневский М.З. , Стрелецкая И.Д., Васильев А.А. Закономерности формирования криогенного строения четвертичных отложений Западного Ямала // Криосфера Земли. 2005, Т. IX, № 3, С. 16-27.

Каплина Т.Н. Древние аласные комплексы Северной Якутии (сообщение 1) // Криосфера Земли. 2011а, Т. XV, № 2. С. 3-13.

Каплина Т.Н. Древние аласные комплексы Северной Якутии (сообщение 2) // Криосфера Земли. 2011б, Т. XV, № 3, С. 20-30.

Катасонов Е.М. Типы мерзлых толщ и проблемы криолитологии // Геокриологические и гидрогеологические исследования Сибири. Якутск: ИМЗ СО РАН. 1972, С. 5-16.

Конищев В.Н., Рогов В.В. Методы криолитологических исследований. М.: Изд-во МГУ. 1985, 185 с.

Конищев В.Н. Форимрование состава дисперсных пород киолитосфере. Новосибирск: Наука. 1981, 196 с.
Корчагин О. А., Цельмович В. А., Поспелов И. И., Цяньтао Бянь. Магнетитовые микросферы и металлические частицы свблизи границы пермь–триас в точке глобального стратотипа границы (слой 27, Мэйшань, Китай)// Доклады Академии наук. 2010, Т. 432, №2, С. 1-7.
Крутоярский М.А. Россыпеобразующие питающие провинции побережий Белого, Баренцева и Карского морей // Геология моря. Ленинград: НИИГА. 1975, Вып. 4, С. 15-21.
Мельников В.П., Спесивцев В.И. Криогенные образования в литосфере Земли. Новосибирск: Изд-во СО РАН. 2000, 343 с.
Микростроение мерзлых пород. Под ред. Ершова Э.Д. М.: Изд-во МГУ. 1988, 183 с.
Региональная криолитология. Под ред. Попова А.И. М.: Изд-во МГУ. 1989, 256 с.
Рогов В.В. Основы криогенеза. Новосибирск: Изд-во «Гео». 2009, 208 с.
Романовский Н.Н. Основы криогенеза литосферы. М.: Изд-во МГУ. 1993, 336 с.
Слагода Е.А., Лейбман М.О., Хомутов А.В., Орехов П.Т. Криолитологическое строение первой террасы острова Белый в Карском море (сообщение 1) // Криосфера Земли. 2013, Т. XVII, № 4,
Слагода Е.А. Особенности микростроения отложений ледовых комплексов Северной Якутии (на примере Быковского полуострова) // Криология почв. Пущино.ИФХБПП РАН. 1991, С. 38-47.
Слагода Е.А. Реконструкция криолитозоны с применением микроморфоло-гических признаков криогенеза в отложениях позднего кайнозоя / Афтореф. докт. дисс. Тюмень: ИКЗ СО РАН. 2005, 48 с.
Строение и абсолютная геохронология аласных отложений Центральной Якутии. Под ред. Катасонова Е.М. Новосибирск: Изд-во Наука. 1979, 96 с.
Хименков А. Н., Брушков А. В. Океанический криолитогенез. М.: Наука. 2003, 336 с.
Шур Ю.Л. Верхний горизонт мерзлых пород и термокарст. Новосибирск. Изд-во «Наука» Сибирское отделение. 1988, 213 с.
Levitan M.A., Andreeva I.A., Bourtman M.V., Smirnova L.S. Heavy minerals in Upper Quaternary sediments of the northern and eastern Kara Sea // Ber. Polarforsch. 1999, № 342, P. 214-228.
Slagoda E.A., Kurchatova A.N. Micromorphological Analyses of Main Genetic Permafrost Types in West Siberi / 9th International Conference on Permafrost (NICOP). Ferbenks, Alaska, USA. 2008, P.1659 -1663.
Stankowski W.T.J., Katrusiak A., Budzianowski A. Crystallographic variety of magnetic spherules from Pleistocene and Holocene sediments in the Northern foreland of Morasko-Meteorite Reserve.// Planet. and Space Sci. 2006, V. 54, P. 60-70.
Szoor Gy., Elekes Z., Rozsa P. et al. Magnetic spherules: Cosmic dust or markers of a meteoritic impact? // Nuclear Instrum. and Meth. Phys. Res. 2001, Ser. B, V. 181, P. 557-562
Winterfeld M., Schirrmeister L., Grigoriev M. N. et al. Coastal permafrost landscape development since the Late Pleistocene in the western Laptev Sea, Siberia // Boreas, 40, 2011, P. 697-713.

Раздел 3. Дешифрирование экзогенных процессов типичных тундр полуострова Ямал на примере территории района среднего течения р. Юрибей.

Аннотация. Выполнено дешифрирование космических снимков сверхвысокого разрешения на территорию среднего течения р. Юрибей, Центральный Ямал. Рассмотрены методические вопросы применения дистанционного зондирования для оценки распространенности экзогенных геологических и криогенных процессов. Одним из геокриологических индикаторов изменения состояния поверхности являются термокарстовые котловины и озера. Проведена инвентаризация термокарстовых котловин и озер на территории общей площадью 1059,74 км2. Составлена таблица дешифровочных признаков основных экзогенных процессов данной территории. Составлена карта-схема масштаба 1:50000 отражающая распространение термокарстовых котловин и озер на разных геоморфологических уровнях. В результате исследования, проведенного по материалам космической съемки, выявлена степень покрытия термокарстовыми формами и заозеренность на геоморфологических уровнях. Максимальная заозеренность выявлена на пойме и I террасе - 18,5% и 19,3%, а максимальное покрытие процессами термокарста состовляет 19,2% на первой террасе. В дальнейшем планируется провести исследование по учету спектральных характеристик каналов космических снимков и использовать полученные данные для автоматизированного дешифрирования данной территории на предмет проявления форм геокриологических процессов.

Перспективы развития нефтегазодобычи в России связаны с освоением северных территорий Арктики и Субарктики, со строительством объектов нефтегазового комплекса в зоне распространения многолетнемерзлых пород. Анализ развития геокриологических процессов в зоне распространения многолетнемерзлых пород в связи с глобальным изменением климата [1; 2] является актуальной проблемой, решение которой невозможно без применения данных дистанционного зондирования. Для дистанционных материалов по

Николаеву В.А. [3] характерно: «истинно интеграционное отражение реально существующих природных и природно-антропогенных геосистем».

Анализ литературных источников в области геокриологических исследований показал, что хорошо дешифрируемые на космических снимках термокарстовые озера и котловины являются наиболее информативными индикаторами как современных, так и унаследованных от голоцена тенденций развития криолитозоны, криогенных изменений рельефа и функционирования мерзлотных ландшафтов [4; 5; 6; 7; 8]. Для выявления проявлений геокриологических процессов необходимы снимки с высоким и сверхвысоким разрешением. Они позволяют детализировать структуру и дать наиболее полную характеристику поверхности, проследить ее изменения и развитие комплекса сопутствующих процессов [9]. Термокарстовые озера, образующиеся в результате вытаивания подземных льдов различного генезиса, связывают с современным потепления климата [10]. Цель работы дешифрирование и анализ геокриологических форм проявления процессов в центральной части полуострова Ямал на космических снимках сверхвысокого разрешения (предоставленных компанией DigitalGlobe в рамках проекта Planet Action - Russia 9273 [ref:00D35pdh.5006Fef79:ref]).

Район работ расположен на Центральом Ямале в среднем течении р. Юрибей (рис. 3.1). На геокриологической карте России масштаба 1:2500000 территория р. Юрибей отнесена к зоне сплошного распространения многолетнемерзлых пород [11, 12]. В соответствии с картой «Природные комплексы севера Западной Сибири» масштаба 1:1000000 [13] дешифрируемый космический снимок относится к морской среднетундровой провинции, в составе которой выделены пойма, II и III морские равнины [14].

И.Л.Кузиным на данной территории выделялись следующие геоморфологические уровни: I, II, III и IV морские террасы [15].

На государственной геоморфологической карте 2000г. масштаб 1:1000000 в районе исследований выделены следующие геоморфологические уровни [16]:

1) 4 прибрежно-морских и приморско-речных уровня: четвертая терраса (равнина) (Q_{III1}), третья терраса (равнина) (Q_{III1-2}), вторая терраса (Q_{III3}), первая терраса (Q_{III4}-Q_{IV1});

2) озерный уровень: комплекс низких террас крупных озер (Q_{III-IV});

3) речной уровень: пойма (Q_{IV}).

Знаками показаны следующие формы проявления процессов: термокарст, хасыреи, морозобойное растрескивание и пучение.

За основу деления изученной территории были приняты геоморфологические уровни государственной геоморфологической карты, с некоторыми упрощениями. Комплекс низких террас крупных озер по высотным отметкам и возрасту объединен с первой террасой, и выделены 5 геоморфологических уровня: пойма, I, II, III и IV террасы.

В качестве основных материалов для изучения распространения термокарстовых котловин и озер использованы космические снимки сверхвысокого разрешения WorldView-2 (2010), космический снимок среднего разрешения Landsat 7 ETM+ (2003), топографическая карта масштаба 1:100000 (1979) и материалы полевых исследований в среднем течении р.Юрибей, проведенных в 2011 году. Дешифрирование форм проявления процессов выполнялось в ручную, при помощи программного комплекса ArcGis 9. Для каждого объекта, выделяемого на снимке, создавался отдельный слой, в котором и проходило дешифрирование. Термокарстовые понижения (хасыреи) были выделены площадным способом, а бугры пучения и морозобойное растрескивание знаками.

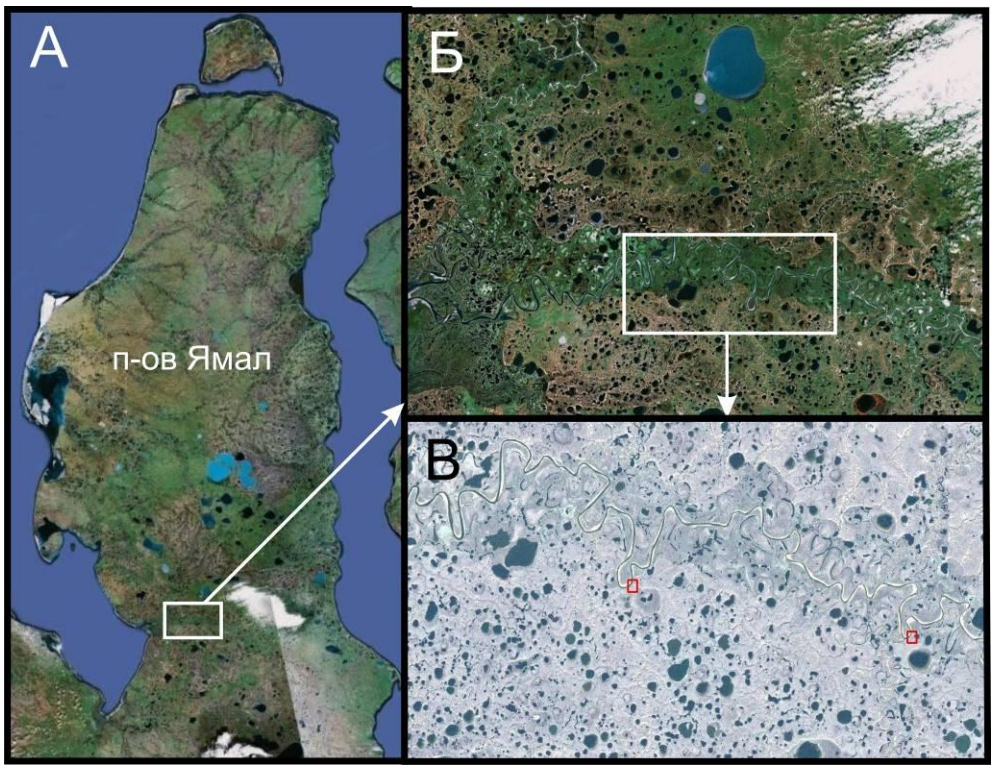


Рис. 3. 1. Обзорный космический снимок территории (А - снимок с GoogleEarth), район исследования на р.Юрибей (Б - снимок с GoogleEarth), расположение участка дешифрирования на р.Юрибей п-ова Ямал (В - космический снимок Landsat 7 ETM+).

На основе визуального дешифрирования снимков определены дешифровочные признаки термокарстовых озер, находящихся на разных стадиях развития, бугров пучения и морозобойного растрескивания. Формы проявления геокриологических процессов дешифрируются уверенно по характерным морфологическим формам, цветовым и тоновым различиям. В таблице выделены признаки, имеющие непосредственное отношение к выделению термокарстовых озер и котловин, находящихся на разных стадиях развития термокарстового процесса, бугров пучения и морозобойного растрескивания (табл. 3.1).

Термокарст - один из наиболее широко распространенных процессов на всей территории связанные с вытаиванием и просадками многолетнемерзлых льдистых пород. С термокарстом связано образование замкнутых западин различной формы и разного размера, в большинстве случаев заполненных водой, которые легко дешифрируются на космоснимках [17]. Берега у термокарстовых озер обычно крутые, обрывистые; при активном развитии термокарста на снимках высокого разрешения можно различить следы обрушения берегов.

Хасыреи, осушенные термокарстовые котловины, часто имеют террасированный ступенчатый рельеф, связанный с сокращением площади и

понижением уровней озер с характерным набором дешифровочных признаков. Общими дешифровочными признаками являются округлая форма, темный фототон. Ведущую роль для выделения ступеней в хасыреях различных генераций играют ландшафтно-индикационные признаки: мелкие остаточные озерки по переферии, крупные озера в центральной части, характерная коленообразная форма реликтовой речной сети, ярко выраженная бровка котловины [18].

Многолетние бугры пучения достаточно уверенно дешифрируются по округлой, овальной и по кольцеобразной форме. Тон изображения бугров бывает как темнее, так и светлее окружающей местности. Вершины бугров нередко разрушены, осложнены небольшими просадочными воронками и покрыты трещинами [19] и хорошо выделяются на снимках сверхвысокого разрешения. Местами выделены скопления бугров пучения.

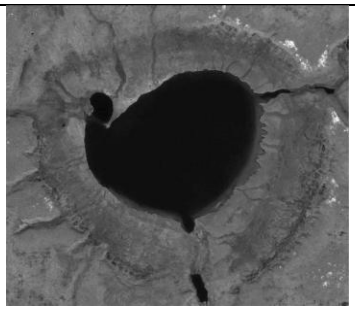
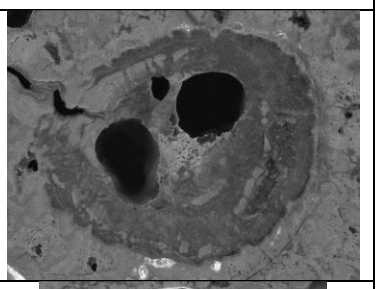
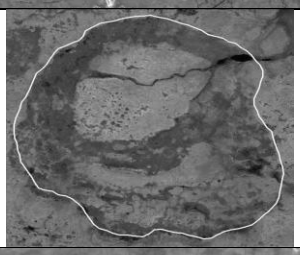
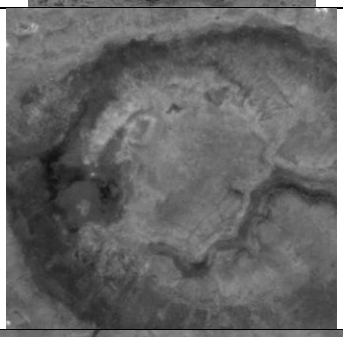
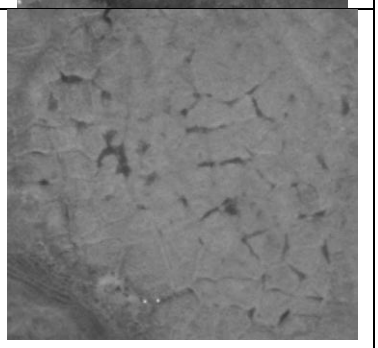
Морозобойное растрескивание является одним из наиболее распространенных криогенных процессов, определяющих многие особенности современных и древних криогенных образований [4]. Выражены они морфологически четко: прослеживаются межполигональные понижения слабо заболоченные, часто пересекающиеся, образующие полигонально-сетчатый рисунок. Форма полигонов на снимке – квадратная, прямоугольная, трапециевидная или многоугольная. Цвет полигонов меняется от светло-желтого до темно-зеленого в зависимости от степени заболоченности территории и состава пород, слагающих поверхность. На снимках с разрешением 0,5 м дешифрируются более уверенно.

Полигоны с пониженной центральной частью, заполненной водой или заболоченной, на космоснимках имеют вид угловатых темных пятен, расположенных рядами и разделенных узкими светлыми полосами [20].

Выпуклые полигоны, наоборот, фиксируются в виде более светлых многоугольников, разделенных темными полосами.

Таблица 3.1.

Дешифровочные признаки геокриологических процессов.

Процессы и формы их проявления	Дешифровочные признаки форм проявления процессов	Вид на панхромотичном снимке с разрешением 0,5 м
Термокарстовые озера частично спущеные (25-75%)	Округлые формы изменяющиеся от темно-серого до черного цвета с распространенными на поверхности площадями темно-зеленого, коричневого цвета.	
Хасыреи с остаточными озерами более 25%	Округлая форма зеленого цвета, с расположенными внутри остаточными озерами.	
Хасыреи полностью осушенные	Округлая форма, темные выступы. Цвет темно-зеленый, нередко желтый.	
Бугры пучения	Округлые пятна более светлого тона чем окружающая поверхность. Часто распознаются внутри термокарстовой котловины.	
Морозобойное растрескивание в хасыреях: полигоны и межполигональные канавы	Прерывистая сеть тонких или широких темных линий на светлом фоне полигонольно с зернистой тектурой образованной микрополигонами, кочками.	

На основе дешифрирования снимка по вышеперечисленным признакам посчитаны площади термокарстовых котловин и озер, построены тематические поверхности с применением метода интерполяции способом Kriging в программе Golden Software Surfer 8. На этих поверхностях отражено распространение и соотношение термокарстовых котловин и озер на террасах (равнинах) в районе среднего течения р. Юрибей.

На рисунке 2 выделены изолинии соответствующие градациям размеров площадей озер. Озера с размером <0,1 км^2 измерялись с частотой 0,00006, 0,001, 0,01, 0,05; озера >0,1 км^2 - с частотой 0,1 км^2. На пойме, I, II и III террасах выделено семь участков с максимальной площадью озер >1 км^2. На всех уровнях имеются озера с наименьшими площадями. На всей территории озера с площадью от 0,00006 до 0,2 км^2, преобладают и составляют 96,6% от общего количества озер. На диапазон от 0,3 до 3,5 км^2 приходятся 3,4%. Среднее значение площади озера составляет 0,032 км^2.

На рисунке 3.3 изолиниями выделены градации размеров площадей термокарстовых котловин (включая частично осушенные котловины и хасыреи) за вычетом площадей озер. При размере котловин <1 км^2, площади измерялись в интервале значений от 0,01 до 1 км^2 с частотой 0,05 км^2; при

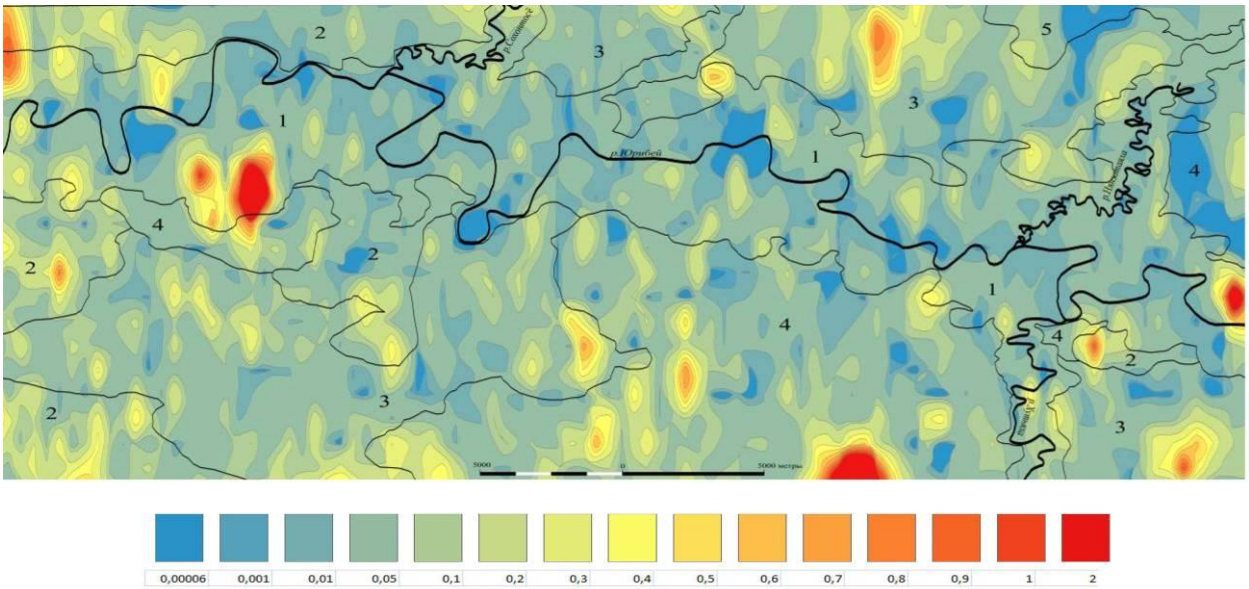


Рис.3. 2. Тематическая поверхность распределения площадей озер на исследуемой территории, км^2. Тонкими линиями показаны границы геоморфологических уровней. Жирными линиями нанесена основная линейная гидрография. Цифрами обозначены: 1 - пойма; 2 - I терраса; 3 - II терраса; 4 - III терраса; 5 - IV терраса.

размере >1 км^2 - с частотой 0,1км^2. На I и III террасах выделены два участка с максимальным размером площадей термокарстовых котловин; на II и IV террасах преобладают мелкие по площади котловины. Преобладают термокарстовые котловины площадью от 0,01 до 0,65 км^2, и составляют 81,7%. Термокарстовые котловины размером от 0,7 до 3,56 км^2 составляют 18,3%. Средняя площадь термокарстовой котловины составляет 0,39 км^2.

Результаты подсчета площадей термокарстовых котловин и озер и их распределение по геоморфологическим уровням представлены в таблице 2.

Проведенный анализ космоснимка показал, что наибольший уровень заозеренности - 18,5% на пойме, за счет старичных, заливаемых водоемом, не имеющих связи с термокарстом.

Таблица 3. 2.

Распространение озер и осушенных частей термокарстовых котловин по геоморфологическим уровням.

Геоморфологический уровень	Площадь геоморфологического уровня	Площадь озер (Заозеренность)		Осушенные площади термокарстовых котловин		Площадь проявления термокарста
	км^2	км^2	%	км^2	%	%
1	2	3	4	5	6	7
Пойма	360,6	66,76	18,5	-	-	-
I терраса	131,91	25,43	19,3	25,4	19,2	38,5
II терраса	312,44	44,33	14,2	54,8	17,5	31,7
III терраса	240,12	31,85	13,3	32,5	13,5	26,8
IV терраса	14,34	0,22	1,5	0,5	3,4	4,9

Заозеренность на террасах снижается от низкого уровня к высокому, что связано с изменением высот и возраста уровня. Наименьшие величины площади термокаста на IV террасе (равнине), обусловлены хорошей дренированностью территории, меньшей льдистостью отложений. Максимальные величины площади термокарста на I террасе - 38,5%, по причине увеличения льдистости и ухудшения дренированности поверхности.

Осушеные термокарстовые котловины по площади достигли максимума на I, II террасах и составляют 19,2% и 17,5% соответственно, от общей площади геоморфологического уровня. Так же как и с заозеренностью прослеживается уменьшение площади термокарстовых котловин от низких уровней до высоких.

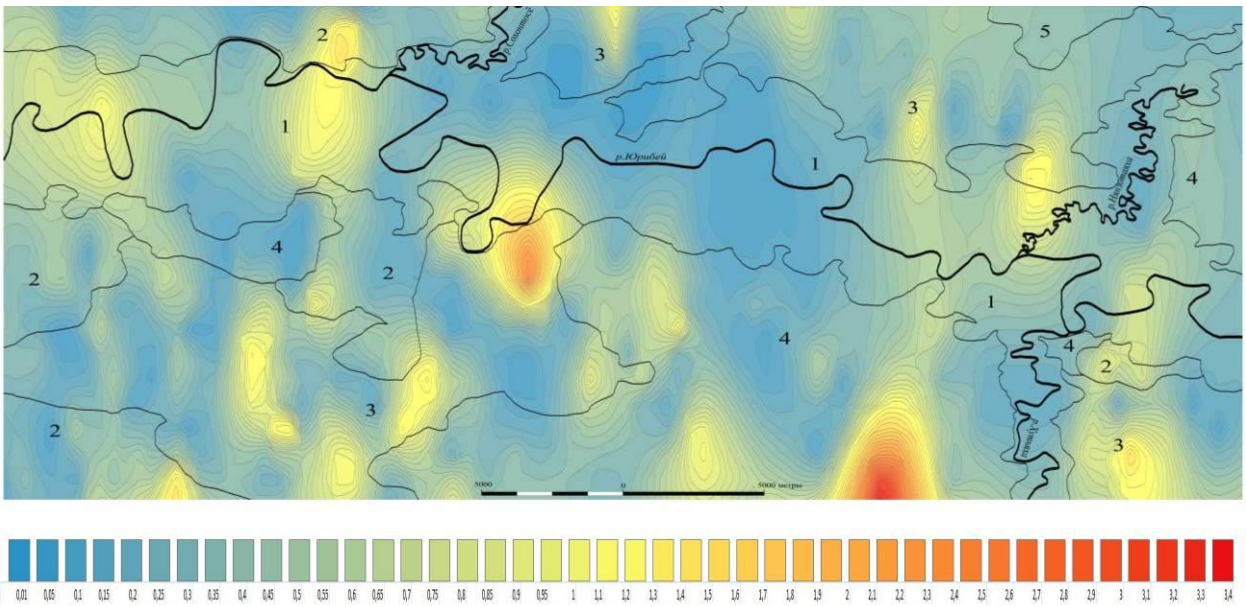


Рис. 3.3. Тематическая поверхность распределения площадей термокарстовых котловин, включая хасыреи и частично осушенные котловины на исследуемой территории, км^2. Диапазоны изменения площадей термокарстовых котловин: 0,01÷1,0 - <1 км^2; 1,0÷3,4 - 0,1км^2. Тонкими линиями показаны границы геоморфологических уровней. Жирными линиями нанесена основная линейная гидрография. Цифрами обозначены: 1 - пойма; 2 - I терраса; 3 - II терраса; 4 - III терраса; 5 - IV терраса.

На водоразделах морозобойное растрескивание проявилось полигональной сетью – представленной полигонально-плоским рельефом. В хасыреях морозобойное растрескивание выражается полигонально-валиковым рельефом.

Бугры пучения расположены вблизи остаточных водоемов в пределах котловин (хасыреи) или на наиболее обводненных участках плоского днища с полигональным рельефом.

В результате дешифрирования была построена карта-схема масштаба 1:50000 с контурами геоморфологических уровней и зонами проявления форм термокарста, элементами отражающими процессы пучения и морозобойного растрескивания (рис.3.4).

Анализ карты показал, что рассматриваемые формы проявления процессов распространены на всех геоморфологических уровнях, но наибольшая часть распространена на первой и второй террасах. Морозобойное растрескивание и криогенное пучение развиваются как в частично осушенных термокарстовых котловинах и хасыреях так и за их пределами. Выделяются два типа озер: старичные озера - широко распространены в поймах крупных и средних рек; термокарстовые озера - они широко развиты в пределах плоских поверхностей надпойменных террас. Озера концентрируются главным образом, в центральных

и тыловых частях террас. Выделенные проявления форм процессов являются индикаторами ландшафтов данной территории, таких как: озерно-котловинные, озерно-болотные, хасырейные типы местности.

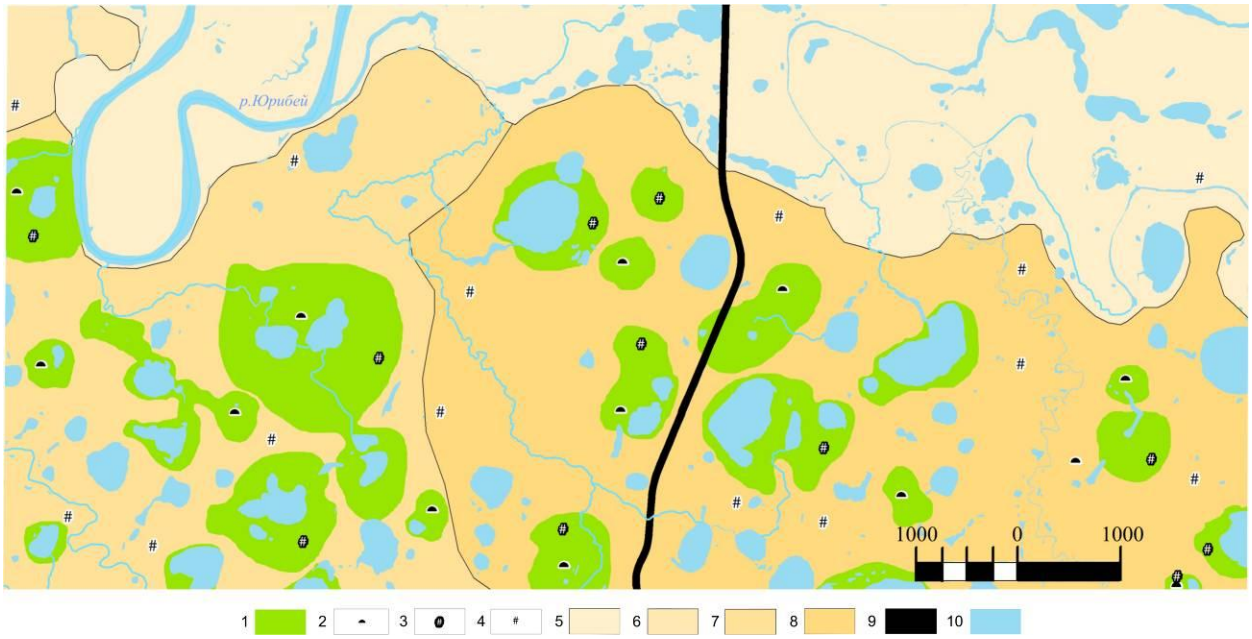


Рис.3. 4. Фрагмент карта-схемы масштаба 1:50000 размещения термокарстовых котловин и озер на геоморфологических уровнях. Условные обозначения: 1 - термокарстовые котловины; 2 - бугры пучения; 3 - следы морозобойного растрескивания в термокарстовых котловинах; 4 - морозобойное растрескивание; 5 - пойма; 6 - I терраса; 7 - II терраса; 8 - III терраса; 9 - железная дорога; 10 - гидрография.

Проведено дешифрирование проявлений форм геокриологических процессов: термокарста, пучения и морозобойного растрескивания – на снимках сверхвысокого разрешения. Составлена таблица дешифровочных признаков процессов на исследуемую территорию. Результатом стала карта-схема геокриологических процессов, на которой выделены площадными объектами термокарстовые котловины и озера, а знаками показаны криогенное пучение и морозобойное растрескивание.

В результате исследования, проведенного по материалам космической съемки, выявлена степень покрытия термокарстовыми формами и заозеренность на геоморфологических уровнях. Максимальная заозеренность выявлена на пойме и I террасе - 18,5% и 19,3%, а максимальное покрытие процессами термокарста состовляет 19,2% на первой террасе.

В дальнейшем планируется провести исследование по учету спектральных характеристик каналов космических снимков и использовать полученные данные для автоматизированного дешифрирования данной территории на предмет

проявления форм геокриологических процессов. Так же сравнить полученные результаты при ручном визуальном и автоматизированном дешифрировании снимков.

Список литературы

1. Павлов А.В., Ананьева Г.В. Оценка современных изменений температур воздуха на территории криолитозоны России // Криосфера Земли. 2004. т.8. №2. С. 3-9.
2. Павлов А.В. Мониторинг криолитозоны. Новосибирск: Академ.изд-во «Гео», 2008. 229 с.
3. Николаев В.А. Космическое ландшафтоведение: Учебное пособие. М.: МГУ, 1993. 81 с.
4. Мельников Е.С., Вейсман Л.И., Крицук Л.Н. и др. Ландшафтные индикаторы инженерно – геологических условий севера Западной Сибири и их дешифровочные признаки. (ВСЕГИНГЕО). М.: Недра, 1974. 182 с.
5. Мельников Е.С., Вейсман Л.И., Москаленко Н.Г. и др. Ландшафты криолитозоны Западно-Сибирской газоносной провинции. Новосибирск: Наука, 1983. 165 с.
6. Некрасов И.А., Петропавловская М.С. Опыт применения космических снимков для геокриологического картирования // Исследование Земли из космоса. 1983. №2, с. 14-20.
7. Козин В.В. Ландшафтные исследования в нефтегазоносных районах. Тюмень: ТюмГУ, 1984. 60 с.
8. Козин В.В. Ландшафтно-экологическая среда Западной Сибири. Часть I. Ямало-Гыданская область. Учебное пособие. Тюмень: ТюмГУ, 2007. 175 с.
9. Ермак А.А., Слагода Е.А., Идрисов И.Р. Дешифрирование природных процессов и образований в зоне освоения месторождений углеводородов западного побережья п-ова Ямал (в районе Бованенково) // Десятая Международная конференция по мерзлотоведению (TICOP). Том 3. Тюмень: Печатник, 2012. С. 171-175
10. Днепровская В.П., Полищук Ю.М. Геоинформационный анализ геокриологических изменений в зоне многолетней мерзлоты Западной Сибири с использованием космических снимков // Геоинформатика. 2008. №2. С. 9-14.
11. Геокриологическая карта СССР (масштаб 1:2500000). М. 1991.
12. Геокриология СССР. Западная Сибирь./Под ред. Э. Д. Ершова. – М.: Недра, 1989. – 454 с.
13. Карта «Природных комплексов севера Западной Сибири» масштаба 1:1000000. М. 1991.
14. Мельников Е.С. Пояснительная записка к карте природных комплексов севера Западной Сибири. М.: ВСЕГИНГЕО, 1991. 36 с.
15. Кузин И.Л. Геоморфологические уровни севера Западной Сибири. // Геология и нефтегазоносность севера Западной Сибири. Труды ВНИГРИ. 1963. Вып. 225. С. 330-339.
16. Государственная геологическая карта (новая серия). Геоморфологическая карта (масштаб 1:1000000). Лист R-(40)-42. СПб., 2000.
17. Гудилин И.С., Комаров И.С. Применение аэрометодов при инженерно-геологических и гидрогеологических исследованиях. Учебное пособие. М.: Недра, 1978. 319 с.
18. Холодилов И.В. Комплексное картографирование эталонных зональных структур на основе анализа данных дистанционного зондирования // Вестник ТюмГУ. Тюмень. 2009. №3. С.29-35.
19. Тыртиков А.П. Динамика растительного покрова и развитие мерзлотных форм рельефа. М.: Наука, 1979. - 116 с.
20. Гидрология заболоченных территорий зоны многолетней мерзлоты Западной Сибири./ Под ред. С.М.Новикова – СПб., 2009. 536 с.