

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ КРИОЛОГИИ ЗЕМЛИ

УДК 581.5

DOI: 10.21782/KZ1560-7496-2017-6(3-13)

**ИЗМЕНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ
И ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ТАЗОВСКОГО ПОЛУОСТРОВА
(ВОСТОЧНАЯ ЧАСТЬ) ЗА ПЕРИОД 1988–2016 ГГ.**

Д.В. Московченко^{1,2}, С.П. Арефьев^{1,2}, В.А. Глазунов², А.А. Тигеев²

¹ Тюменский государственный университет, 625003, Тюмень, ул. Семакова, 10, Россия; moskovchenko1965@gmail.com

² Институт проблем освоения Севера ТюмНЦ СО РАН, 625026, Тюмень, ул. Малыгина, 86, Россия; va@ipdn.ru

По материалам полевых геоботанических описаний, данных дистанционного зондирования и анализа древесно-кольцевых хронологий изучена динамика растительности в восточной части Тазовского полуострова. Показано, что изменения растительного покрова в течение трех последних десятилетий были связаны с потеплением климата, под влиянием которого усилился процесс формирования новых биотопов после дренирования термокарстовых озер и улучшились условия произрастания древесных видов. Сокращение площади озер за период 1988–2016 гг. составило 20 %, что близко к максимальным показателям в Западной Сибири и свидетельствует об активизации термоэрозийных процессов. Отмечается увеличение радиального прироста лиственницы, причем это увеличение на водоразделе выражено сильнее, чем в долине р. Монгаюрбей, что говорит об увеличении мощности сезонного слоя и выравнивании температурного поля в различных ландшафтных условиях. Антропогенные сукцессии растительности вызваны нарушениями при освоении Юрхаровского месторождения. Особенно быстро, в течение 3–4 лет, восстанавливаются осоково-пушицевые и злаково-разнотравные сообщества хасырей. Однако процесс формирования на их месте ерничково-кустарничково-лишайниково-моховых сообществ, сопровождающийся уменьшением глубины сезонного протаивания, занимает более 30 лет. Следы от внедорожного движения транспорта и прокладки линейных сооружений на космоснимках наблюдаются на протяжении 12–20 лет (в редких случаях 25 лет), что близко к показателям сопредельных районов. Подсчеты вегетационного индекса (normalized difference vegetation index – NDVI) продемонстрировали его рост в зависимости от температуры воздуха в летний период и суммы осадков, начиная с даты установления снежного покрова.

Тундры, Тазовский полуостров, динамика растительности, изменение климата, древесно-кольцевые хронологии, криогенные процессы

**CHANGES IN VEGETATION AND GEOCRYOLOGICAL CONDITIONS
OF THE TAZOVSKY PENINSULA (EASTERN PART) FOR THE PERIOD OF 1988–2016**

D.V. Moskovchenko^{1,2}, S.P. Arefyev^{1,2}, V.A. Glazunov², A.A. Tigeev²

¹ Tyumen State University, 10, Semakova str., Tyumen, 625003, Russia; moskovchenko1965@gmail.com

² Institute of the Problems of Northern Development, Tyumen Scientific Centre SB RAS,
86, Malygina str., Tyumen, 625003, Russia; va@ipdn.ru

Based on field geobotanical descriptions, remote sensing data and analysis of tree-ring chronologies, the dynamics of vegetation in the eastern part of the Tazovsky Peninsula has been studied. The dynamic of vegetation has been shown to be caused by climate changes, and the radial growth of larch, as well as drainage of thermokarst lakes, increases under the influence of climate warming. Reduction in the area of lakes proved to be 20 %, corresponding to the maximal parameters in Western Siberia, suggesting activation of thermoerosion processes. Radial growth of larch has increased at the watershed more than in the floodplain, indicating an increase in the thickness of the active layer and levelling of the temperature field in various landscape conditions. Anthropogenic succession of vegetation was caused by disturbances during development of the Yurkharovskoye gas field. The sedge-cotton grass and grassy-herb communities of drained lakes (“khasyreys”) are restored most rapidly (within 3–4 years) after anthropogenic disturbances. However, the process of formation of dwarf birch-shrub-lichen-moss communities in their place, accompanied by a decrease in the depth of seasonal thawing, takes more than 30 years. The off-road vehicle tracks and other linear disturbances on satellite images can be traced for 12–20, in rare cases 25 years. Calculation of the normalized difference vegetation index (NDVI) has demonstrated its dependence on air temperatures in the summer and the amount of precipitation of the preceding period, starting from the date of snow cover formation.

Tundras, Tazovsky Peninsula, dynamic of vegetation, climate changes, tree-ring width chronologies, cryogenic processes

ВВЕДЕНИЕ

Разработка месторождений углеводородов в арктических районах Западной Сибири делает крайне актуальным изучение динамики растительности: ее причин, форм проявления и связанных с ней изменений геоэкологической ситуации. На Тазовском полуострове площадь трансформированных геосистем составляет около 10 тыс. км², или 13.9 % территории [Корниенко, 2011]. Нарушение растительного покрова приводит к увеличению глубины сезонноталого слоя (СТС), повышению температуры многолетнемерзлых пород, активизации экзогенных процессов [Мельцер, 1994; Москаленко, 1999, 2009; Антропогенные изменения..., 2006]. Техногенные нарушения обуславливают формирование растительных сообществ, которые служат индикаторами изменения теплофизических свойств грунтов. Так, при формировании пушицево-сфагнового болота на месте нарушенного плоскобугристого торфяника зафиксировано понижение кровли многолетнемерзлых пород (ММП) до 2–3 м [Москаленко, 2012]. На буграх пучения после нарушения растительности мощность СТС увеличилась в 2 раза [Комплексный мониторинг..., 2012]. Индикатором параметров СТС является ширина годичных колец деревьев криолитозоны, связанная с фоновыми и локальными климатическими показателями разных сезонов года [Николаев, Скачков, 2011, 2012].

Изменения климата увеличивают опасность активизации криогенных процессов. Наблюдения, проведенные в конце XX–начале XXI столетия, показали тенденцию роста температуры мерзлых грунтов на севере Западной Сибири [Павлов, Малкова, 2010]. Наибольшая скорость роста среднегодовой температуры воздуха в России отмечается на побережье Северного Ледовитого океана, в особенности в азиатской части [Доклад..., 2016]. Примечательно, что связанные с потеплением изменения растительного покрова зачастую усиливают

дестабилизацию температурного режима ММП – появление деревьев и разрастание кустарников на торфяниках способствуют снегозадержанию и затрудняют промерзание грунта, а уменьшение обилия лишайников *Cladina* приводит к снижению альбедо [Пономарева и др., 2015].

Цель исследований – определить основные формы трансформации растительности, связанные с антропогенным воздействием и современными климатическими изменениями и оценить изменение геоэкологических условий в южных тундрах Западной Сибири.

РАЙОН И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Район исследований (рис. 1) находится в восточной части Тазовского полуострова, в бассейне р. Монгаюрбей, и включает территорию Юрхаровского нефтегазоконденсатного месторождения. По схеме геоботанического зонирования он относится к подзоне субарктических южных тундр [Растительный покров..., 1985]. В ходе исследований был описан уникальный геоботанический объект – экстразональное лиственничное редколесье в долине р. Монгаюрбей – самое северное местонахождение лиственницы (*Larix sibirica*) на Тазовском полуострове [Валеева, Московченко, 2008]. Согласно криолитологическому районированию Западной Сибири, район исследований расположен в Заполярной зоне сплошного распространения ММП и относится к Ямало-Гыданской подзоне, Восточно-Тазовской области, в которой преобладают сильнольдистые грунтовые толщи со слоистыми или сетчатыми криотекстурами [Геоэкология..., 1989]. Из мерзлотных форм рельефа наблюдаются морозобойные полигоны, пучение и термокарст.

Юрхаровское месторождение, введенное в эксплуатацию в 2003 г., является основным газодобывающим активом компании “Новатэк” и относится к уникальным по величине извлекаемых запасов газа [Медведев и др., 2014]. Техногенное воздействие на месторождении связано с проведением буровых работ, прокладкой коридоров коммуникаций, строительством и функционированием установок комплексной подготовки газа, переработки буровых шламмов, производства метанола.

Для достижения поставленной цели были использованы различные методы исследований. Поскольку реакция криолитозоны на изменения климата зависит от ландшафтных условий [Павлов, Малкова, 2010], в соответствии с особенностями геоморфологии, почвенного и растительного покровов были выделены преобладающие ландшафтно-территориальные структуры – виды урочищ. Геоботанические описания [Полевая геоботаника, 1960] сделаны как в геосистемах спонтанного развития, так и на участках техногенных нарушений. Они сопровождались описанием поч-

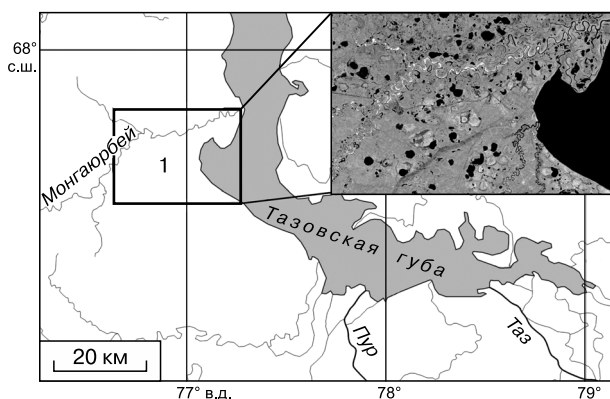


Рис. 1. Карта-схема расположения района исследований (1).

венного профиля, прежде всего мощности торфяных горизонтов, измерением мощности СТС, фиксацией экзогенных процессов. Оценка динамики растительного покрова под влиянием антропогенных и природных факторов проведена с использованием космических снимков Landsat [http://www.landsatlook.usgs.gov]. Использованы снимки, сделанные в 1988–2016 гг. с применением сенсоров TM, ETM+ и OLI. Обработка снимков была проведена программными средствами ArcGis и ENVI и включала классифицирование растительности, векторизацию, создание геоботанической карты. Для закартированных единиц растительного покрова по данным дистанционного зондирования (ДДЗ) и материалам полевых наблюдений была выполнена оценка преобладающих экзогенных процессов и скорости самовосстановления. Динамика ландшафтно-типологических комплексов и соответствующих им геокриологических условий оценивалась по изменению площади термокарстовых озер и хасыреев, участков, лишенных растительности (аллювий пойм, раздувы песчаных бугров), участков техногенных нарушений. Вычислены значения индекса NDVI (нормализованный относительный индекс растительности), позволяющего оценить фитомассу и ее динамику, в том числе вызванную современными изменениями климата [Walker et al., 2012].

Для оценки климатических условий, влияющих на растительность, были проанализированы данные наблюдений по ближайшим метеостанциям Тазовский и Новый Порт, представленные ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» [http://www.meteo.ru]. Локальные особенности климатических условий рассмотрены по данным измерения ширины годовых колец лиственницы, произрастающей в различных ландшафтных условиях (долина реки, водораздел) [Methods..., 1990]. Отклик древесно-кольцевых рядов на климатические факторы рассчитан в программе STATISTICA 10 (множественная регрессия).

КЛИМАТИЧЕСКИЕ И ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

По данным наблюдений на близлежащих метеостанциях Новый Порт и Тазовский, средняя летняя температура воздуха (июнь–август) за период 1970–2015 гг. повысилась на 2 °С (в среднем на 0.04 °С/год). Начиная с 1990-х гг. прослеживается увеличение суммы осадков в зимний период и мощности снежного покрова (рис. 2), что свидетельствует об уменьшении зимнего промерзания верхней толщи грунтов (сумма осадков по станции Тазовский росла с 1990 г. в среднем на 1 мм/год). Рост температуры воздуха и мощности снежного покрова приводит к увеличению температуры ММП, однако термический режим пород по сравнению с атмосферой более инертен. Изменение

среднегодовой температуры пород при повышении среднегодовой температуры воздуха на 1 °С составляет 0.10–0.25 °С в зоне тундры и 0.1–0.8 °С в зоне лесотундры [Васильев и др., 2008].

О термическом режиме грунтов в районе исследований можно судить по данным близлежащего (30–40 км к югу) участка, где был выявлен отчетливый рост температуры ММП: если в 1974 г. наблюдались значения $t = -1.7...-5.9$ °С, то в 2008 г. зафиксированы значения $t = -0.8...-3.8$ °С, причем минимальная температура отмечена в бугорковатых и кочковатых тундрах, максимальная – на склоне южной экспозиции с кустарниковыми сообществами [Дроздов и др., 2010].

Определение современной динамики теплового режима воздуха и грунтов на обследованной территории с середины XIX в. было проведено с использованием древесно-кольцевых хронологий. Изучение кернов из лиственниц, произрастающих как на водоразделе, так и в долине р. Монгаюрбей, показало увеличение биопродукции, пропорциональное увеличению температур вегетационного периода, что хорошо видно по линейным трендам радиального прироста (рис. 3). Множественная корреляция прироста с температурой воздуха трех летних месяцев составляет до 0.61 при уровне значимости $p < 0.001$. Увеличение прироста деревьев в криолитозоне отмечается не только в связи с повышением летней температуры воздуха, но и с увеличением высоты снежного покрова [Николаев, Скачков, 2011, 2012], в сильной степени определяющей температурный режим мерзлых почвогрунтов [Некрасов, 1981]. Множественная корреляция прироста с суммами осадков и температурами воздуха трех предшествовавших зимних месяцев достигает +0.69 при $p = 0.003$, его частная корреляция с суммой осадков в феврале +0.57 при $p = 0.001$. Нужно отметить, что у деревьев, произрастающих на водоразделе (см. рис. 3, а) положительная реакция на изменение климата выражена значительно сильнее, чем у деревьев, произрастающих в речной долине (см. рис. 3, б). За последнее столетие тренд радиального прироста на водораз-

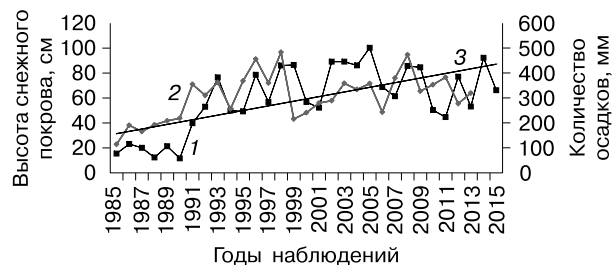


Рис. 2. Изменение метеопоказателей по станции Тазовский.

1 – высота снежного покрова в конце зимнего периода (апрель); 2 – сумма осадков в зимний период (октябрь–апрель); 3 – линейный тренд высоты снежного покрова.

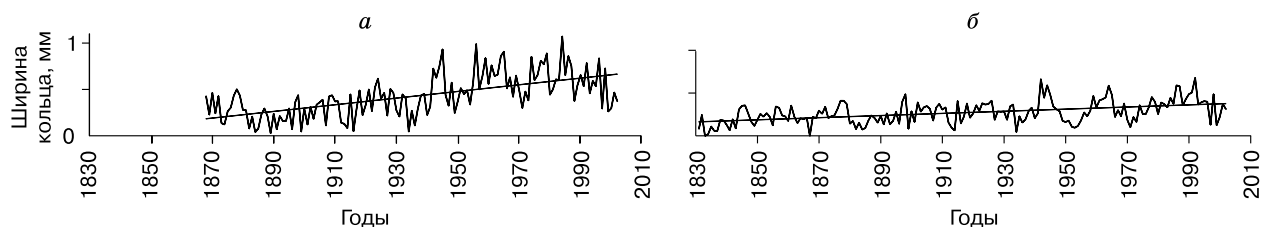


Рис. 3. Хронологии радиального прироста (мм) лиственницы восточной части Тазовского полуострова и линейные тренды:

а – плакорная тундра правобережья р. Монгаюрбей; *б* – долина р. Монгаюрбей.

деле составил 0.39 мм при увеличении прироста в 2.3 раза, в это же время в долине р. Монгаюрбей тренд составил 0.12 мм при увеличении прироста в 1.4 раза. Таким образом, термический режим биотопа лиственницы в условиях плакора стал более благоприятным и приблизился к термическому режиму речной поймы. Это дает основания для следующих предположений: 1) о возрастании глубины сезонного протаивания на водоразделе, увеличивающего корнеобитаемый слой [Николаев, Скачков, 2011, 2012]; 2) о выравнивании температурного поля многолетнемерзлых пород в лесотундре Западной Сибири при потеплении климата – феномене, отмеченном в работе Д.С. Дроздова с соавт. [2010].

Зависимость мощности СТС от состава и структуры тундровых фитоценозов нашла отражение в многочисленных работах [Тыртиков, 1969; Мельцер, 1994; Москаленко, 1999]. Важно, что от типа растительности зависит не только глубина протаивания, но и ее современная климатогенная динамика. Отмечалось [Антропогенные изменения..., 2006], что тенденции криогенных процессов для торфяников и обводненных болот разнонаправленны: на болотах выявлено максимальное увеличение глубины СТС и минимальное – среднегодовой температуры ММП; на торфяниках, напротив, сезонное протаивание изменилось в минимальной степени, температура пород значительно возросла.

В растительном покрове описываемой территории широко распространены ерниковые и ерничково-ивняковые кустарничково-моховые бугорковатые тундры. Мощность торфяного слоя в этих фитоценозах, как показали наблюдения, составляет 5–15 см, что определяет его хорошие теплоизолирующие свойства. Глубина СТС варьирует в пределах 0.6–0.8 м на бугорках и 0.5–0.7 м в микропонижениях. При ухудшении дренажа преобладают пушицево-кустарничково-зеленомошно-лишайниково-сфагновые заболоченные тундры, в которых благодаря более мощному (15–25 см) торфяному слою наблюдается незначительная мощность СТС – 0.4–0.6 м. Большие площади заняты осоково-мохово-лишайниковыми плоскобуг-

ристыми торфяниками, распространенными как на плоских водоразделах, так и в приречных понижениях. Мерзлый торф здесь залегает на глубине 35–50 см. На участках обводненных болот и хасыреев мощность СТС варьирует от 0.7 до 1 м и более.

Обобщенная характеристика выделенных фитоценозов, соответствующие им геофизиологические условия и наблюдаемые экзогенные процессы представлены в таблице. Важно отметить, что наибольшее распространение имеют низкокустарничковые (ерниковые и ивняковые) кустарничково-моховые сообщества с торфяным слоем средней мощности, который имеет хорошие теплоизолирующие свойства, но легко нарушается при техногенном воздействии. Наименее устойчивые к механическим нарушениям лишайниковые тундры и плоскобугристые торфяники распространены незначительно.

СОВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА РАСТИТЕЛЬНОСТИ

Трансформация растительности тундр при изменении температурного режима воздуха и пород обусловлена двумя главными факторами: смещением широтных оптимумов различных видов растений и трансформацией биотопов, вызванной активизацией криогенных процессов.

Индикатором потепления является смещение к северу предтундровых редколесий [Шиятов, 2009]. На Тазовском полуострове в междуречье Хадутты и Табъяхи отмечено продвижение на север лиственниц высотой до 3 м. За последние 30 лет граница редколесий сместилась на 10–30 км к северу [Дроздов и др., 2010]. Выявленное нами увеличение радиального прироста лиственницы в долине р. Монгаюрбей (см. рис. 3) и появление там ее молодых поколений (с 1930-х гг.) в целом соответствует этой тенденции. Однако массового распространения лиственницы за пределы долины р. Монгаюрбей зафиксировано не было, что, вероятно, связано с исключительно изолированным положением этого анклава внутри тундровой зоны.

Геоботанические индикаторные признаки криогенных процессов и мощности СТС (по данным авторов)

№	Растительные сообщества	Мощность СТС, м	Экзогенные процессы	Самовосстановление растительности после нарушений
<i>Растительность водоразделов</i>				
1	Низкокустарниковые –ивняково-ерниковые лишайниково-моховые бугорковатые тундры дренируемых водораздельных увалов	0.6–0.8 на бугорках, 0.5–0.7 в микропонижениях	Пучение грунтов, заболачивание в понижениях	Восстановление сомкнутого покрова за 4–6 лет, в редких случаях формирование обводненных просадок; нарушения перестают прослеживаться на ДДЗ через 12–20 лет
2	Кустарничково-лишайниковые тундры возвышенных водоразделов	0.7–0.8	Дефляция	Восстановление сомкнутого покрова замедленное (>10 лет) со сменой доминирующих видов; нарушения прослеживаются более 25 лет
3	Ивняковые травяно-зеленомошные и кустарничково-разнотравно-моховые сообщества широких ложбин	0.6–0.7	Солифлюкция, эрозия, нивация	Формирование сомкнутого покрова в течение 5–7 лет; нарушения прослеживаются 15–20 лет
4	Ерниково-ивняковые морошково-багульниково-пушицево-долгомошные заболоченные тундры	0.5–0.6	Заболачивание	Восстановление сомкнутого покрова за 4–6 лет, редко формирование просадок
5	Пушицево-сфагново-зеленомошные с ивой и ерником заболоченные кочкарные тундры	0.4–0.6	Заболачивание, сезонное пучение	То же
6	Кустарничково-мохово-лишайниковые на валиках, осоково-сфагновые в трещинах и мочажинах, трещиновато-полигональные болота	0.35–0.60	Заболачивание, растрескивание, сезонное пучение	Восстановление сомкнутого покрова за 8–10 лет, формирование обводненных просадок; нарушения прослеживаются от 7 до 25 лет
7	Осоково-кустарничково-лишайниково-моховые на буграх, осоково-пушицево-сфагново-гипновые плоскобугристые болота	0.35–0.50 на буграх, 0.6–0.8 в мочажинах	Сезонное пучение, тепловая осадка	При слабых нарушениях восстановление сомкнутого покрова за 4–5 лет, при сильных – формирование обводненных просадок и восстановление до 25 лет
8	Травяно-осоково-сфагново-гипновые обводненные болота (топи)	0.55–0.80	Заболачивание	Восстановление сомкнутого покрова за 2–4 года; нарушения прослеживаются 6–12 лет
9	Пушицево-осоковые, травяно-осоково-гипновые, крупнотравяно-кустарниковые травяно-моховые серии сообществ на месте спущенных озер	0.7–1.0 и более	Термоэрозия, делювиальные процессы, сезонное пучение	Восстановление сомкнутого покрова за 3 года; нарушения прослеживаются от 3 до 15 лет
<i>Растительность речных долин и пойм</i>				
10	Серии открытых группировок растений на первичном аллювии	0.9–1.0 и более	Дефляция, русловые процессы	Сомкнутого покрова не образуют
11	Лиственничные мохово-лишайниково-кустарничковые редкостойные леса и редколесья	0.8–1.0	Дефляция на прирусловых участках	Восстановления древесного яруса через 12 лет не отмечено
12	Кустарниковые (ива, ольховник) травяно-осоково-злаковые сообщества	0.8–1.0 и более	Заболачивание	Восстановление сомкнутого покрова за 4–6 лет
13	Разнотравно-злаковые луга в сочетании с осоково-гипновыми валиково-полигональными болотами	0.7–1.0	Заболачивание	То же
14	Ряд разнотравно-злаковых, осоково-пушицевых, кустарниковых травяно-моховых сообществ в долинах малых рек	0.7–1.0	Эрозия, делювиальные процессы, нивация	Восстановление сомкнутого покрова за 3–5 лет
15	Злаково-осоковые заболоченные луга побережья Тазовской губы	0.8–1.0	Заболачивание	Восстановление сомкнутого покрова за 3–4 года

Рост температуры воздуха и пород приводит к активизации криогенных процессов, инициирующих вторичные сукцессии растительности. В ходе полевых исследований и при анализе ДДЗ были выделены различные формы изменений поверхности, вызывающие трансформацию растительно-

го покрова: исчезновение термокарстовых озер, абразия берегов озер, эрозионные процессы на склонах приозерных котловин и речных долин, русловые процессы р. Монгаюрбей с последующим зарастанием песчаного аллювия, формирование песчаных раздувов.

Индикатором климатогенного изменения геокриологических условий является процесс дренирования термокарстовых озер и формирования на их месте хасыреев [Полищук, Токарева, 2006; Брыксина и др., 2007]. Широкое распространение хасыреев в южной части Тазовского полуострова позволило выделить здесь особый тип местности – хасырейный [Ландшафты..., 1983]. Причиной сокращения площади озер в условиях потепления климата является усиление эрозии и дренажа при оттаивании мерзлоты [Днепровская и др., 2009]. Была отмечена зависимость этого процесса от зональных геокриологических условий: наибольшее количество исчезнувших озер отмечено в зоне прерывистого распространения ММП, в то время как в зоне сплошного распространения ММП, наоборот, количество и площадь озер возросли [Smith et al., 2005]. Сходные результаты, выявившие сокращение площади озер в южной тундре и лесотундре, получены в более поздних работах [Брыксина, Кирпотин, 2012].

Анализ космоснимков территории Юрхаровского месторождения показал, что дренирование озер здесь происходило очень интенсивно. В качестве примера приведем серию снимков правобережья р. Монгаюрбей в нижнем течении (рис. 4). Всего за период 1988–2016 гг. в результате дренирования здесь исчезли 48 озер площадью от 0.01 до 3.1 км², суммарная площадь водной поверхности сократилась со 130 до 103 км². Сокращение площади озер составило 20 %, что соответствует максимальным значениям этого показателя в зоне прерывистого распространения ММП Западной Сибири, составляющим 19.0–20.5 % [Днепровская и др., 2009]. Интенсивное дренирование озер свидетельствует об активизации эрозионных процессов, косвенно подтверждая факт повышения температуры ММП и увеличения мощности СТС.

Зарастание котловин спущенных озер, способствующее стабилизации термического режима грунтов, проходит через стадию доминирования пушицево-осоковых и разнотравно-злаковых со-

обществ. На обследованном хасырее через 15 лет после осушения озера растительность была представлена серией осоково-гипновых сообществ низкого уровня, осоково-пушицевых сообществ среднего уровня, злаково-разнотравных сообществ высокого уровня и кустарниковых (преимущественно ивняковых) сообществ склонов приозерных террас, образующих сомкнутые ленточные сообщества. Глубина протаивания под хасыреем более 1 м. Как показал анализ ДДЗ, зарастание котловин спущенных озер происходит в течение 3–4 лет. Дальнейшее изменение растительности идет в направлении формирования ерничково-кустарничково-лишайниково-моховых сообществ, мощность СТС в которых составляет 0.5–0.7 м. Формирование таких сообществ, индицирующих уменьшение мощности СТС и стабилизацию геокриологических условий, занимает более 30 лет. Судя по серии космоснимков, пушицево-осоковые однородные болота на днищах хасыреев, возникших после дренирования термокарстовых озер в 1980-е гг., продолжали сохраняться в малоизмененном состоянии в 2010-х гг.

Существенную угрозу стабильности температурного режима ММП несут различные виды техногенных нарушений. Отмечались случаи, когда на нарушенном строительстве газопровода торфянике кровля мерзлой толщи понизилась до глубины 10 м [Пономарева, Скворцов, 2006]. Основания инженерных сооружений вызывают резкое повышение среднегодовой температуры ММП прилегающих участков [Дроздов и др., 2010].

На обследованной территории площадь участков, полностью лишенных растительности (поймы рек с аллювиальными песками, котловины недавно образовавшихся хасыреев, техногенные объекты) составляла 0.3 % в 1988 г. и 1.4 % в 2016 г. Отмечено формирование производных сообществ на участках техногенных нарушений, отчетливо выделяющихся на космоснимках из-за термопросадок и обводнения. Такие нарушения, связанные с внедорожным движением транспорта,

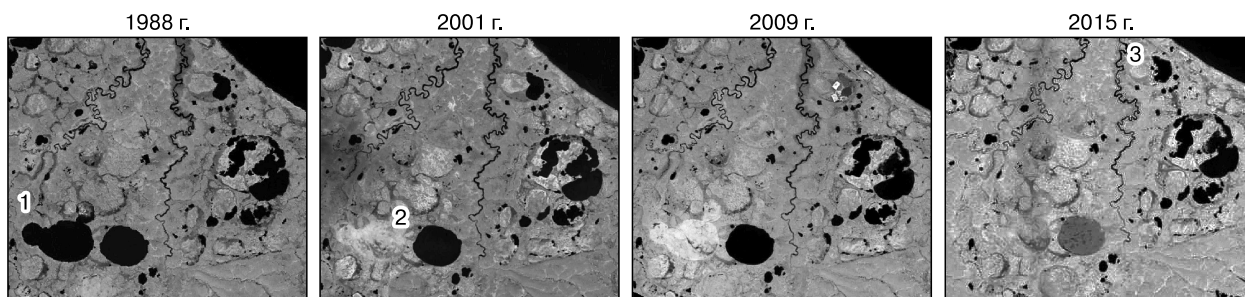


Рис. 4. Изменения термокарстовых озер на правобережье р. Монгаюрбей [http://www.landsatlook.usgs.gov].

1 – озеро в 1988 г., хасырей в 2001–2015 гг.; 2 – озеро в 1988–2009 гг., хасырей в 2015 г.; 3 – озеро в 1988, 2001, 2015 гг., хасырей в 2009 г.

прокладкой трубопровода и коридоров коммуникаций, занимали в различные периоды 1.3–3.2 % территории и достигли максимальных размеров в 2003–2004 гг. При повышении обводненности и формировании на месте просадок пушицево-осоковых сообществ изменение геоэкологической ситуации идет в направлении увеличения мощности СТС и повышения температуры пород, при этом восстановление температурного режима во многом определяется скоростью сукцессий растительности.

Наиболее активное восстановление растительности после техногенных нарушений проходит на хасыреях, чему способствуют большое количество влаги и запас в почве элементов минерального питания. Продолжительность восстановления после нарушений в пределах хасыреев совпадает с продолжительностью формирования здесь сомкнутого покрова при первичных сукцессиях и составляет 3–4 года. Высокая упругая устойчивость хасыреев к механическим нарушениям отмечалась ранее в тундрах п-ова Ямал [Мельцер, 1994]. В ерниково-кустарничково-лишайниково-зеленомошных тундрах, широко представленных на водоразделах, определяющим условием является сохранность органогенных почвенных горизонтов. Восстановление сомкнутого растительного покрова при слабых нарушениях с частичным сохранением торфяного горизонта почв занимает от 4 до 6 лет, но флористический состав производных фитоценозов отличается от состава исходных сообществ. Обычно после нарушения происходят просадки и обводнение, поэтому на начальной стадии сукцессии формируются осоково-пушицевые сообщества, которые постепенно сменяются морошково-осоково-сфагновыми. Анализ космоснимков высокого разрешения показал, что в условиях плакора следы от внедорожного движения транспорта и прокладки линейных сооружений прослеживаются на протяжении 12–20 лет (рис. 5). Замедленным восстановлением, занимающим более 25 лет, отличаются только сообщества плоскобугристых торфяников.

Отмечалось, что средний срок восстановления растительного покрова и естественного режима сезонного протаивания после нарушений в увлажненной тундре составляет 20–25 лет [Антропогенные изменения..., 2006]. В типичных тундрах Центрального Ямала обследование коридоров движения вездеходной техники показало, что при слабом нарушении наблюдается полное восстановление исходных фитоценозов за 20-летний период [Холутов, Хитун, 2014]. Таким образом, темпы восстановления растительных сообществ Юрхаровского месторождения близки к показателям сопредельных районов. Необратимой деградации криогенных ландшафтов вследствие образования обширных обводненных термопросадок, существующих продолжительный период (более 20 лет), обычно не наблюдается. Успешное самовосстановление растительности свидетельствует о высокой упругой устойчивости криогенных ландшафтов на обследованной территории. Растительность выступает в качестве регулятора восстановления, благодаря системе обратных связей ограничивающего последствия техногенеза и изменения климата. Например, более ранняя вегетация, связанная с увеличением температуры воздуха в начале лета, является фактором, ограничивающим рост температуры ММП и глубины СТС.

Для более полного понимания процессов зависимости растительности от климатических показателей была определена современная изменчивость вегетационного индекса NDVI, характеризующего запас фитомассы, который наряду с мощностью органического горизонта почв влияет на темпы и глубину сезонного протаивания пород [Дроздов и др., 2010]. Межгодовая климатообусловленная изменчивость фитомассы оказывает безынерционное воздействие на ММП [Анисимов, Шерстюков, 2016]. Вследствие изменения климата имеет место тенденция роста NDVI в тундровой зоне, что позволило говорить о “озеленении” Арктики [Walker et al., 2009, 2012]. Рост NDVI был зафиксирован в различных географических районах российского Севера [Лавриненко, 2011; Варламова, Соловьев, 2014; Walker et al., 2009].

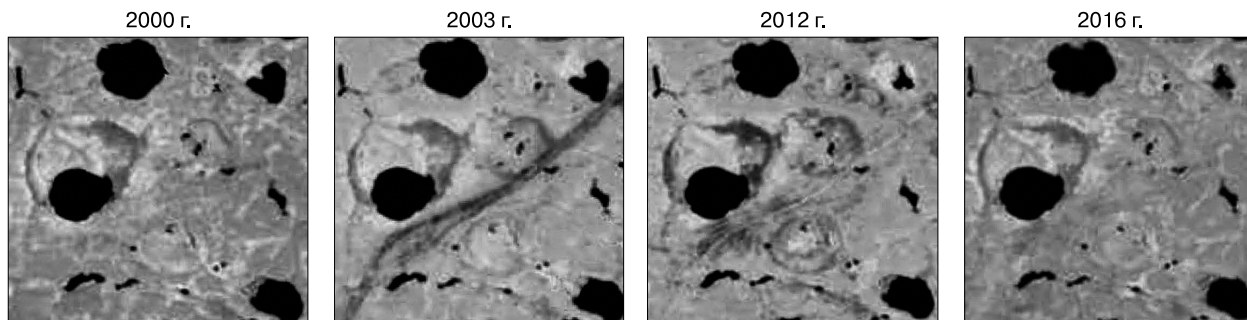


Рис. 5. Заращение линейных нарушений на правом берегу р. Монгаюрбей [http://www.landsatlook.usgs.gov].

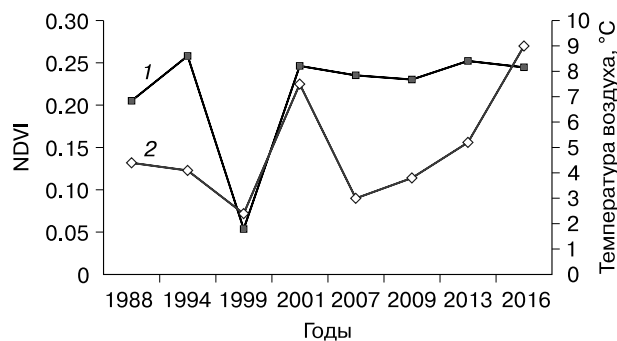


Рис. 6. Изменение средних для участка значений индекса NDVI (1) в период роста вегетации (первая декада июля) и средней температуры воздуха (2) в предшествующем месяце (июне).

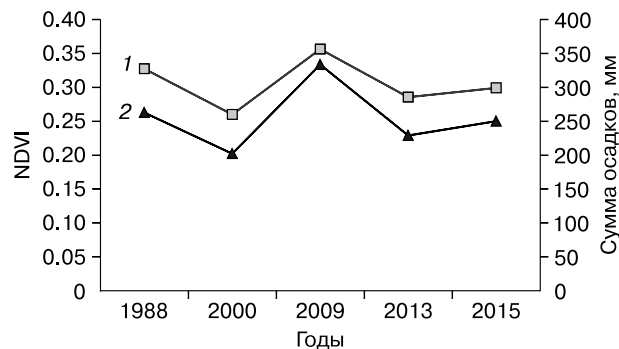


Рис. 7. Изменение средних для участка значений NDVI (1) в период максимальной вегетации и суммы осадков (2) за предшествующие 9 месяцев (ноябрь–июль).

Подсчет NDVI в период нарастания вегетации (первая декада июля) показал, что значения индекса изменяются от 0.05 до 0.25 и зависят от температуры предшествующего месяца (рис. 6). Рост температуры воздуха приводит к росту фитомассы и увеличению сроков вегетации, что препятствует проникновению тепла в грунтовую толщу и является фактором стабилизации термического режима грунтов.

В период максимальной вегетации средние для участка значения NDVI в разные годы составляли от 0.28 до 0.36. Из сопоставления NDVI с метеопараметрами следует, что максимальные значения вегетационного индекса находятся в прямой зависимости от суммы осадков предшествующего периода, начиная с ноября предыдущего года, когда формируется устойчивый высокий снежный покров (рис. 7). Усиление вегетации при увеличении суммы осадков, вероятно, связано со следующими факторами: 1) большая высота снежного покрова препятствует промерзанию почвы в зимний период, способствует увеличению температуры грунтов и мощности СТС; 2) усиление увлажнения благоприятствует развитию однолетних – осок, пушиц, гидрофитного разнотравья, за счет чего увеличивается общая фитомасса. Современная тенденция роста суммы осадков на рассматриваемом участке благоприятствует росту фитомассы и стабилизации геоэкологических условий.

На небольшом ряде наблюдений при межгодовой вариабельности показателя нельзя определенно говорить о существовании тренда роста NDVI в южных тундрах Тазовского полуострова, вызванного глобальными климатическими изменениями. Несмотря на многочисленные свидетельства роста NDVI для других районов Арктики, подобная ситуация не уникальна. Так, для Югорского полуострова за период 2000–2011 гг. тренд увеличения NDVI отмечен на 53 % площа-

ди, на 40.4 % изменения несущественные [Елсаков, Кулюгина, 2014]. Очевидно, что зависимость NDVI от климатических показателей во многом определяется структурой флористического состава фитоценозов. Отмечалось, что в тундрах, где доминируют мхи и лишайники, рост температуры воздуха не вызывает существенного увеличения фитомассы, в отличие от тундр, где доминируют осоки и злаки [Walker et al., 2009]. В ивняково-ерниковых лишайниково-моховых бугорковатых тундрах, широко распространенных на обследованной территории, повышение температур вызывает удлинение сроков вегетации, но не приводит к росту максимальных запасов фитомассы. Рост значений индекса наблюдается в котловинах спущенных озер по мере их зарастания, что отличает территорию Тазовского полуострова от участков Канадской Арктики и Аляски, где “позеленение” связано с таянием ледников и зарастанием каменистых субстратов [Walker et al., 2009]. Снижение NDVI происходит на участках инженерных сооружений. Максимальные значения индекса (0.7–0.9), соответствующие категории “густой растительности” [Черепанов, Дружинина, 2009], отмечены в долине р. Монгаюрбей и ее притоков, где распространены редкостойные листовенные леса и высококустарниковые ивняки. Площадь участков с NDVI > 0.7 за рассмотренный период увеличилась с 1.1 до 1.9 % территории.

ВЫВОДЫ

Динамика растительности и геоэкологических условий в восточной части Тазовского полуострова связана с климатическими изменениями и антропогенным воздействием. Средние темпы роста температуры воздуха в последние три десятилетия составляли 0.04 °C в год, увеличение суммы осадков составило в среднем 1 мм/год. Климатические изменения способствовали увеличению радиального прироста древесных видов, в особен-

ности на водоразделах, что свидетельствует о потеплении грунтовой толщи и выравнивании температурного поля ММП.

Основной формой природной динамики растительности является зарастание котловин спущенных озер. За период 1988–2016 гг. в результате дренирования заозеренность уменьшилась на 20 %, что близко к максимальным показателям в Западной Сибири и свидетельствует об усилении эрозионных процессов, которое подтверждает повышение температуры ММП и увеличение мощности СТС. В хасыреях происходит постепенное уменьшение мощности СТС от более 1 до 0.7 м, длительность хасырейных сукцессий, конечной стадией которых являются ерниково-кустарничково-лишайниково-моховые тундры, составляет более 30 лет.

Нарушения, связанные с прокладкой трубопровода, коридоров коммуникаций, возведением насыпных песчаных оснований инженерных сооружений, занимали в различные периоды 1.2–3.2 % территории и достигали максимальных значений в 2003–2004 гг. Восстановление преобладающих растительных сообществ после слабых техногенных нарушений занимает 6–8 лет, после сильных – 12–20 лет. Необратимой деградации криогенных ландшафтов вследствие образования обширных, длительно существующих обводненных термопросадок обычно не наблюдается. Результаты свидетельствуют о высокой упругой устойчивости фитоценозов, что связано с незначительным участием в структуре растительного покрова малоустойчивых лишайниковых тундр и благоприятными для растительности изменениями климата (рост температур и увеличение суммы осадков). Вычисление вегетационного индекса NDVI показало зависимость его максимальных годовых значений, а следовательно, общей фитомассы от суммы осадков предшествующего 9-месячного периода, начиная с формирования снежного покрова.

Литература

- Анисимов О.А., Шерстюков А.Б.** Оценка роли природно-климатических факторов в изменениях криолитозоны России // Криосфера Земли, 2016, т. XX, № 2, с. 90–99.
- Anisimov, O.A., Sherstiukov, A.B., 2016. Evaluating the effect of climatic and environmental factors on permafrost in Russia. Earth's Cryosphere, XX (2), 90–99.
- Антропогенные** изменения экосистем Западно-Сибирской газоносной провинции / Отв. ред. Н.Г. Москаленко. М., ИКЗ СО РАН, 2006, 359 с.
- Moskalenko, N.G. (Ed.), 2006. Anthropogenic changes in the ecosystems of the West-Siberian gas-bearing province. Institute of the Earth's Cryosphere, Moscow, 359 pp. (in Russian)
- Брыксина Н.А., Евтюшкин А.В., Полищук Ю.М.** Изучение динамики изменений термокарстовых форм рельефа с использованием космических снимков // Современ. пробл. дистанц. зондирования Земли из космоса, 2007, т. 4, № 2, с. 123–128.
- Bryksina, N.A., Evtyushkin, A.V., Polishchuk, Yu.M., 2007. The study of the dynamics of changes in the thermokarst shapes of the landscape using satellite images, in: Current issues of remote sensing of the Earth from outer space, vol. 4 (2), 123–128.
- Брыксина Н.А., Кирпотин С.Н.** Ландшафтно-космический анализ изменения площади и количества термокарстовых озер в зоне многолетней мерзлоты Западной Сибири // Вестн. Том. гос. ун-та. Биология, 2012, № 4 (20), с. 185–194.
- Bryksina, N.A., Kirpotin, S.N., 2012. The landscape-satellite analysis of changes in the area and number of thermokarst lakes in the permafrost zone of Western Siberia. Bulletin of the Tomsk State University, biology, No. 4 (20), 185–194.
- Валева Э.И., Московченко Д.В.** Зональные особенности растительного покрова Тазовского полуострова и его техногенная трансформация // Вестн. экологии, лесоведения и ландшафтоведения, 2008, № 9, с. 174–191.
- Valeeva, E.I., Moskovchenko, D.V., 2008. Zonal specifics of the vegetative cover of the Tazovsky Peninsula and its anthropogenic transformation. Vestnik Ekologii, Lesovedeniya i Landshaftovedeniya, No. 9, 174–191.
- Варламова Е.В., Соловьев В.С.** Исследование вариаций индекса NDVI тундровой и таежной зон Восточной Сибири на примере территорий Якутии // Оптика атмосферы и океана, 2014, т. 27, № 10, с. 891–894.
- Varlamova, E.V., Solovyev, V.S., 2014. A study of variations of the NDVI index of the tundra and taiga zones of Eastern Siberia, with the example of Yakutian territories. Optika atmosfery i okeana, 27 (10), 891–894.
- Васильев А.А., Дроздов Д.С., Москаленко Н.Г.** Динамика температуры многолетнемерзлых пород Западной Сибири в связи с изменениями климата // Криосфера Земли, 2008, т. XII, № 2, с. 10–18.
- Vasiliev, A.A., Drozdov, D.S., Moskalenko, N.G., 2008. Permafrost temperature dynamics of West Siberia in context of climate changes. Earth's Cryosphere, XII (2), 10–18. (in Russian)
- Геокриология СССР.** Западная Сибирь / Под ред. Э.Д. Ершова. М., Недра, 1989, 454 с.
- Ershov, E.D. (Ed.), 1989. Geocryology of the USSR. Western Siberia. Nedra, Moscow, 454 pp. (in Russian)
- Днепровская В.П., Брыксина Н.А., Полищук Ю.М.** Изучение изменений термокарста в зоне прерывистого распространения вечной мерзлоты Западной Сибири на основе космических снимков // Исслед. Земли из космоса, 2009, № 4, с. 88–96.
- Dneprovskaya, V.P., Bryksina, N.A., Polishchuk, Yu.M., 2009. The study of thermokarst changes in the discontinuous permafrost zone of Western Siberia on the Basis of Satellite Images. Exploration of the Earth from Outer Space, No. 4, 88–96.
- Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2015 год.** М., Росгидромет, 2016, 68 с.
- Report on the Climate Characteristics in the Territory of Russian Federation in 2015, 2016. Rosgidromet, Moscow, 68 pp. (in Russian)
- Дроздов Д.С., Украинцева Н.Г., Царев А.М., Чекрыгина С.Н.** Изменения температурного поля мерзлых пород и состояния геосистем на территории Уренгойского месторождения за последние 35 лет (1974–2008) // Криосфера Земли, 2010, т. XIV, № 1, с. 22–31.
- Drozdov, D.S., Ukraintseva, N.G., Tsarev, A.M., Chekrygina, S.N., 2010. Changes of permafrost temperature field and geosystem state on the Urengoy oil-gas-field territory during the last 35 years (1974–2008). Earth's Cryosphere, XIV (1), 22–31. (in Russian)
- Елсаков В.В., Кулюгина Е.Е.** Растительный покров Югорского полуострова в условиях климатических изменений последних десятилетий // Исслед. Земли из космоса, 2014, № 3, с. 65–77.

- Elsakov, V.V., Kulyugina, E.E., 2014. The vegetative cover of the Yugra peninsula under conditions of climatic changes of the recent decades. *Exploring the Earth from Outer Space*, No. 3, 65–77.
- Комплексный мониторинг северотаежных геосистем Западной Сибири** / Отв. ред. В.П. Мельников. Новосибирск, Акад. изд-во "Гео", 2012, 207 с.
Melnikov, V.P. (Ed.), 2012. *Complex Monitoring of Northern Taiga Systems of Western Siberia*. Geo Publishing House, Novosibirsk, 207 pp. (in Russian)
- Корниенко С.Г.** Оценка трансформаций природных ландшафтов Тазовского полуострова по данным космической съемки // *География и природ. ресурсы*, 2011, № 1, с. 67–73.
Kornienko, S.G., 2011. Evaluation of transformations of natural landscapes of the Tazovsky Peninsula according to satellite survey data. *Geografiya i Prirodnye Resursy*, No. 1, 67–73.
- Лавриненко И.А.** Динамика растительного покрова острова Вайгач под влиянием климатических изменений // *Соврем. пробл. дистанц. зондирования Земли из космоса*, 2011, № 1, с. 183–189.
Lavrinenko, I.A., 2011. Dynamics of the vegetation cover of Vaigach Island under the impact of climatic changes. *Current Issues of Remote Sensing of the Earth from Outer Space*, No. 1, 183–189.
- Ландшафты криолитозоны Западно-Сибирской газоносной провинции** / Е.С. Мельников, Л.И. Вейсман, Н.Г. Москаленко и др. Новосибирск, Наука, 1983, 164 с.
Melnikov, E.S., Veisman, L.I., Moskalenko, N.G., et al., 1983. *The Landscapes of the Permafrost Zone of the West Siberian Gas-bearing Province*. Nauka, Novosibirsk, 164 pp. (in Russian)
- Медведев С.Г., Соловьев С.Г., Лузин А.А.** Опыт разработки Юрхаровского нефтегазоконденсатного месторождения с использованием горизонтальных скважин // *Вести газовой науки*, 2014, № 4, с. 23–33.
Medvedev, S.G., Solov'yev, S.G., Luzin, A.A., 2014. The experience of developing the Yurkharovsky oil and gas condensate field using horizontal boreholes. *Vestn. Gazovoy Nauki*, No. 4, 23–33.
- Мельцер Л.И.** Фитоценотические аспекты устойчивости ландшафтов Ямала // *Западная Сибирь – проблемы развития*. Тюмень, Ин-т пробл. освоения Севера СО РАН, 1994, с. 128–141.
Meltser, L.I., 1994. Phytocenosis aspects of sustainability of Yamal landscapes, in: *Western Siberia – Development Problems*. Institute of Northern Development Issues, SB RAS, pp. 128–141. (in Russian)
- Москаленко Н.Г.** Антропогенная динамика растительности равнин криолитозоны России / Н.Г. Москаленко. Новосибирск, Наука, 1999, 280 с.
Moskalenko, N.G., 1999. *The anthropogenic Dynamics of Vegetation Growing on the Plains of the Russian Permafrost Zone*. Nauka, Novosibirsk, 280 pp. (in Russian)
- Москаленко Н.Г.** Изменение температуры пород и растительности под влиянием меняющегося климата и техногенеза в Надымском районе Западной Сибири // *Криосфера Земли*, 2009, т. XIII, № 4, с. 18–23.
Moskalenko, N.G., 2009. Permafrost and vegetation changes in the Nadym region of West Siberian northern taiga due to the climate change and technogenesis. *Earth's Cryosphere*, XIII (4), 18–23. (in Russian)
- Москаленко Н.Г.** Изменения криогенных ландшафтов северной тайги Западной Сибири в условиях меняющегося климата и техногенеза // *Криосфера Земли*, 2012, т. XVI, № 2, с. 38–42.
Moskalenko, N.G., 2012. Cryogenic landscape changes in the West Siberian northern taiga in the conditions of climate change and human-induced disturbances. *Earth's Cryosphere*, XVI (2), 38–42. (in Russian)
- Некрасов И.А.** Снежный покров и глубокое промерзание литосферы // *Тематические и региональные исследования мерзлотных почв Северной Евразии*. Якутск, ИМЗ СО АН СССР, 1981, с. 3–21.
Nekrasov, I.A., 1981. Snow cover and deep freezing of the lithosphere, in: *Thematic and regional studies of permafrost soils of Northern Eurasia*. Permafrost Institute, Academy of Sciences of USSR, Yakutsk, pp. 3–21. (in Russian)
- Николаев А.Н., Скачков Ю.Б.** Влияние динамики снежного покрова на рост и развитие лесов в Центральной Якутии // *Криосфера Земли*, 2011, т. XV, № 3, с. 71–80.
Nikolaev, A.N., Skachkov, Yu.B., 2011. Influence of the snow cover dynamics on the growth and development of forests, Central Yakutia. *Earth's Cryosphere*, XV(3), 71–80. (in Russian)
- Николаев А.Н., Скачков Ю.Б.** Влияние снежного покрова и температурного режима мерзлотных почв на радиальный прирост деревьев в Центральной Якутии // *Журн. Сиб. федерал. ун-та. Сер. Биология*, 2012, № 5, с. 43–51.
Nikolaev, A.N., Skachkov, Yu.B., 2012. The impact of the snow cover and of the temperature regime of permafrost soils on the radial growth of trees in Central Yakutia. *Journal of the Siberian Federal University, biology series*, No. 5, 43–51.
- Павлов А.В., Малкова Г.В.** Динамика криолитозоны России в условиях современных изменений климата XX–XXI веков // *Изв. РАН. Сер. геогр.*, 2010, № 5, с. 44–51.
Pavlov, A.V., Malkova, G.V., 2010. The dynamics of the permafrost zone of Russia under conditions of modern climate conditions of the XX–XXI centuries. *The Bulletin of RAS, geography series*, No. 5, 44–51.
- Полевая геоботаника** / Ред. Е.М. Лавренко. М., Ботан. ин-т АН СССР, 1960, 499 с.
Lavrinenko, E.M. (Ed.), 1960. *Field Geobotany*, vol. 2. Academy of Sciences of USSR, Botanical Institute, Moscow, 499 pp. (in Russian)
- Полищук Ю.М., Токарева О.С.** Вопросы мониторинга изменений состояния многолетнемерзлых пород в условиях глобального потепления с использованием космических снимков // *Вестн. ЮГУ*, 2006, № 3, с. 87–90.
Polishchuk, Yu.M., Tokareva, O.S., 2006. The issues of monitoring changes in the condition of permafrost soils under global warming conditions using satellite images. *Bulletin of the Southern State University*, No. 3, 87–90.
- Пономарева О.Е., Гравис А.Г., Устинова Е.В. и др.** Реакция криогенных ландшафтов северной тайги Западной Сибири на изменение климата // *Арктика, Субарктика: мозаичность, контрастность, вариативность криосферы: Тр. Междунар. конф.* / Под ред. В.П. Мельникова, Д.С. Дроздова. Тюмень, Эпоха, 2015, с. 300–303.
Ponomareva, O.E., Gravis, A.G., Ustinova, E.V., et al., 2015. The response of cryogenic landscapes of the northern taiga of Western Siberia to climate changes, in: V.P. Melnikov and D.S. Drodzov (Eds.). *Arctic, Subarctic: the mosaic, contrast and variable character of the cryosphere: Proceedings of the International Conference*. Epokha Publishing House, Tyumen, pp. 300–303.
- Пономарева О.Е., Скворцов А.Г.** Методы и результаты изучения экзогенных геологических процессов в Надымском районе Западной Сибири // *Теория и практика оценки состояния криосферы Земли и прогноз ее изменения: Материалы Междунар. конф.* Тюмень, ТюмГНГУ, 2006, т. 1, с. 272–274.
Ponomareva, O.E., Skvortsov, A.G., 2006. Methods and results of studying the exogenous geological processes in the Nadym district of Western Siberia, in: *The theory and practice of evaluating the condition of the Earth's cryosphere and forecast of its*

- changes: Proceedings of the International Conference, vol. 1. Tyumen State University Press, Tyumen, pp. 272–274.
- Растительный покров Западно-Сибирской равнины /** Под ред. В.В. Воробьева, А.В. Белова. Новосибирск, Наука, 1985, 251 с.
- Vorobyev, V.V., Belov, A.V. (Eds.), 1985. The Vegetative Cover of the West-Siberian Plain. Nauka, Novosibirsk, 251 pp. (in Russian)
- Тыртиков А.П.** Влияние растительного покрова на промерзание и протаивание грунтов / А.П. Тыртиков. М., Изд-во Моск. ун-та, 1969, 192 с.
- Tyrtikov, A.P., 1969. The Impact of the Vegetative Cover on Soil Freezing and Thawing. Moscow University Press, Moscow, 192 pp. (in Russian)
- Хомутов А.В., Хитун О.В.** Динамика растительного покрова и глубины сезонного протаивания в типичной тундре центрального Ямала при техногенном воздействии // Вестн. Тюм. гос. ун-та. Науки о Земле, 2014, № 4, с. 17–27.
- Khomutov, A.V., Khitun, O.V., 2014. Dynamics of the vegetative cover and the depth of seasonal thawing in the typical tundra of central Yamal under anthropogenic impact. The Bulletin of the Tyumen State University, geo sciences, No. 4, 17–27.
- Черепанов А.С., Дружинина Е.Г.** Спектральные свойства растительности и вегетационные индексы // Геоматика, 2009, № 3, с. 28–32.
- Cherepanov, A.S., Druzhinina, E.G., 2009. The spectral properties of vegetation and vegetation indices. Geomatika, No. 3, 28–32.
- Шиятов С.Г.** Динамика древесной и кустарниковой растительности в горах Приполярного Урала под влиянием современных изменений климата / С.Г. Шиятов. Екатеринбург, Изд-во УрО РАН, 2009, 216 с.
- Shiyatov, S.G., 2009. Dynamics of the Arboreal and Fruticose Vegetation in the Mountains of Subpolar Urals Subject to Current Climatic Changes. Publishing House of the Ural Branch of RAS, Yekaterinburg, 216 pp. (in Russian)
- Methods of dendrochronology: Applications in the environmental sciences /** E.R. Cook, L.A. Kairiukstis (Eds.). Dordrecht; Boston; London, Kluwer Acad. Publ., 1990, 364 p.
- Smith, L.C., Sheng, Y., MacDonald, G.M., et al.** Disappearing Arctic Lakes // Science, 2005, vol. 308, iss. 5727, p. 1429.
- Walker, D.A., Epstein, H.E., Raynolds, M.K., et al.** Environment, vegetation and greenness (NDVI) along the North America and Eurasia Arctic transects // Environmen. Res. Lett., 2012, No. 7, p. 015504.
- Walker, D.A., Leibman, M.O., Epstein, H.E., et al.** Spatial and temporal patterns of greenness on the Yamal Peninsula, Russia: interactions of ecological and social factors affecting the Arctic normalized difference vegetation index // Environmen. Res. Lett., 2009, No. 4, p. 045004, DOI: 10.1088/1748-9326/4/4/045004.
- URL: <http://www.landsatlook.usgs.gov> (дата обращения: 15.11.2016).
- URL: <http://www.meteo.ru> (дата обращения: 30.08.2016).

Поступила в редакцию
9 мая 2016 г.