

НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

© О. Д. ТРЕГУБОВ

ГРАФИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ЛАНДШАФТОВЕДЕНИИ КАК ИНСТРУМЕНТ ИССЛЕДОВАНИЯ И СРЕДСТВО ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПРИРОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

Введение. Первым образцом графического моделирования человеком своих мировоззренческих представлений стала наскальная живопись. А сегодня ни одна из наук или учебных дисциплин не обходится без графических моделей, будь то блок-схема химических реакций или модель круговорота воды в природе. В известном справочнике Н. Ф. Реймерса в виде схем, гистограмм, блоковых и древовидных диаграмм, схематичных рисунков приведено более 150 графических моделей из различных областей знаний, касающихся природопользования, в том числе и ландшафтоведения [6]. Собственно ландшафтная карта, ориентированная в системе географических координат с нанесенными изогипсами, может рассматриваться как пространственная графическая модель взаимосвязи и взаимодействия ландшафтных единиц.

Графические модели востребованы, когда математическое или имитационное моделирование затруднительно в силу сложности реконструируемых явлений и процессов. Это в первую очередь касается природных комплексов по причине их многокомпонентности и открытости, трудоемкости количественного учета. Неоднозначны требования, предъявляемые к графическим моделям природных систем. С одной стороны, они должны учесть максимальное число факторов влияния, с другой — избегать излишней детализации и достичь максимума наглядности в отображении сущности моделируемых систем или их отдельных аспектов. Поэтому выбор подходов, приемов и методов графического моделирования оказывается не всегда простым и однозначным. Настоящая работа ставит цель проанализировать и проиллюстрировать опыт построения графических моделей на примере изучения ландшафтов Анадырской низменности Чукотки.

Предмет графического моделирования. В пределах Анадырской низменности, которая занимает восточную окраину евроазиатской полосы южных кустарниковых тундр, широко распространены равнинные (увалистые) и низменные кочкарные кустарничковые мохово-пушицевые тундры и бугорковые кустарничковые мохово-осоковые тундроболота. Кустарниковые сообщества представлены пойменными и склоновыми массивами ивняков и ольшаников. В горных тундрах обрамления низменности ландшафтная структура подзоны

южных кустарниковых тундр усложняется за счет водораздельных гольцов, щебнистых пятнистых мохово-лишайниково-кустарничковых тундр склонов, нивальных и пойменных зеленошанных разнотравно-злаковых лугов. На ландшафтной карте А. Г. Исаченко (2002) в пределах низменности выделяются позднечетвертичные моренные, озерно-ледниковые глинистые и суглинистые ландшафты низменных равнин южных тундр субарктического пояса [3].

История ландшафтных исследований различной направленности в описываемом районе насчитывает более 25 лет. В числе решаемых задач были классификация и картирование природно-территориальных комплексов (ПТК) в целях организации аласного луговодства, обустройства грунтовых дорог, строительства газового промысла и подземного газопровода, изучение устойчивости мерзлотных ландшафтов и условий их естественного восстановления. Перед графическим моделированием ставились задачи типологии местностей и урочищ, установления скорости и механизмов восстановления тундровых ландшафтов, представления закономерностей и особенностей функционирования коренных тундровых ландшафтов [8, 10]. Предметом графических реконструкций были формирование и трансформация водно-ледниковых и озерно-аллювиальных ландшафтов в позднем плейстоцене—голоцене, динамика физико-химических (геокриологических и геохимических) условий кровли многолетнемерзлых пород, сукцессии растительного покрова кустарничковых мохово-пушицевых тундр. Объектами моделирования служили ландшафты в ранге фаций, урочищ и местностей.

Типы и виды графических моделей. В известных руководствах по моделированию исчерпывающей систематизации графических моделей в ландшафтоведении и в географии в целом не приводится. Далее предлагается оригинальная схема классификации, которая учитывает как целевое назначение моделей, так и форму их исполнения.

— *Пространственный тип графических моделей:* блок-схемы, древовидные диаграммы, графы, графики поверхностей и карты линий уровней.

— *Временной (эволюционный или сукцессионный) тип графических моделей:* блок-схемы и графы (со стрелками), графики (временные ряды), гистограммы и смешанные диаграммы, круговые диаграммы, синусоидальные графики.

— *Вещественно-энергетический тип графических моделей:* блок-схемы (со стрелками), древовидные диаграммы, поточные диаграммы на разрезах и профилях.

— *Универсальный тип графических моделей:* смешанные круговые диаграммы, тернарные графики, синусоидальные, двумерные и трехмерные графики и поверхности.

Для большей наглядности графиков, круговых и древовидных диаграмм они могут дополняться обозначениями уровней связей, зарисовками объектов природы и компонентов систем.

Данная классификация стала первым авторским результатом проб и ошибок подбора моделей для характеристики ландшафтов, описания явлений и процессов. Примеры диаграмм, графиков и схем можно найти в уже упомянутом нами словаре-справочнике по природопользованию, а также другой специальной литературе [6, 11].

Пространственная модель ландшафтной структуры. Одной из наиболее продуктивной в методическом плане и в части практического применения стала модель ландшафтной структуры междуречья Каргопильгын-Автаткуль в

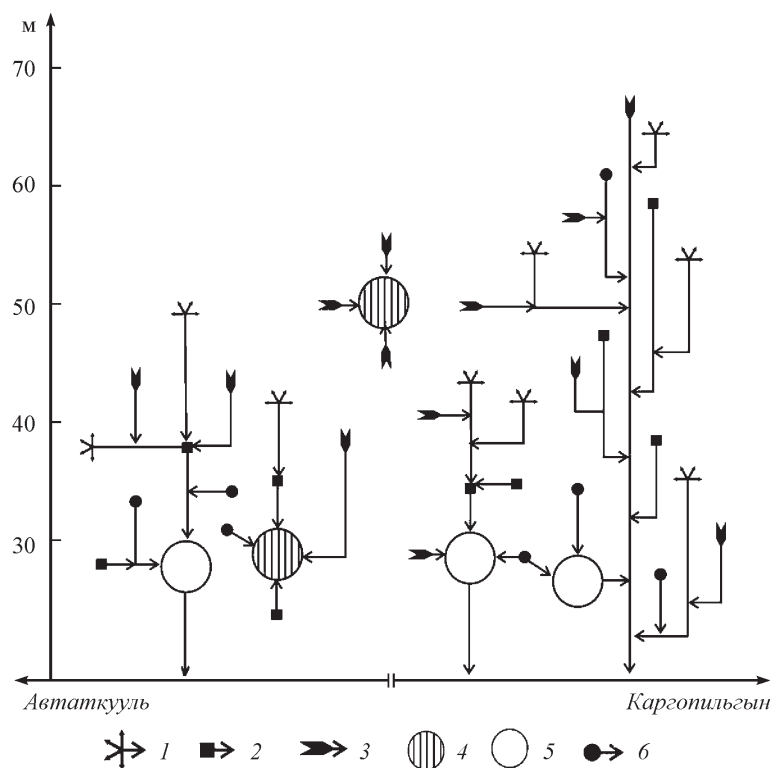


Рис. 1. Модель ПТК Озеринского поднятия.

Условные обозначения см. в тексте.

центре Анадырской низменности. Междуречье приурочено к продуктивному на углеводороды Озернинскому поднятию, где в 2000—2003 гг. велось строительство Западно-Озерного газового промысла [9]. Смешанная древовидная диаграмма была условно ориентирована в системе полярных координат, где по оси абсцисс отложен численный вектор с севера на юг в крест простираения геологической структуры и водораздельной линии, проходящей по цепи низких увалов (рис. 1). По оси ординат на диаграмме указан диапазон высот рельефа местности.

На древе диаграммы условными знаками показаны шесть типов ПТК в ранге урочищ [5].

1. Плоские и пологие слабодренированные поверхности низких увалов геокриогенной инверсии, покрытые типичной кочкарной кустарничковой мохово-пушицевой тундрой.

2. Дренированные склоны увалов, сухие речные и озерные эрозионные террасы, покрытые кустарничковыми лишайниково-моховыми и разнотравно-ерниковыми моховыми тундрами.

3. Полосы и ложбины стока на пологих склонах, избыточно увлажненные и слабодренированные, покрытые осоково-кустарниковой сфагново-моховой растительностью.

4. Уплотненные, сезонно заболоченные слабопроточные термокарстовые приозерные котловины с обильной разнотравно-злаковой, разнотравно-злако-

во-ивовоой, осоковой и осоково-сфагновой растительностью (аласы и заболоченные аласы).

5. Плоские или вогнутые, заболоченные или избыточно увлажненные замкнутые сезонно проточные термокарстовые котловины с разреженными низкими ерничковыми ивняками, с осоковой, мохово-осоковой и мохово-кустарничковой растительностью.

6. Берега озер, тундровых ручьев и проток с разнотравно-злаково-кустарничковыми сообществами с ерничковыми ивняками.

ПТК типологически и топологически объединяются в три геосистемы, по иерархии отвечающие местности, соответствующие водосборам рек Автаткууль, Каргопильгын и замкнутым бессточным озерно-болотным котловинам (рис. 1).

Особое место заняли урочища верховых слабопроточных озер с небольшим водосбором. Впоследствии было установлено, что они приурочены к провальным ледниковым озерам глубиной до 5 м (в сравнении с глубинами 1—1.5 м термокарстовых озер). Одно из таких глубоких озер было использовано в качестве источника водоснабжения газового промысла [9]. Другой важный вывод на стадии «чернового» графического моделирования связан с динамикой ландшафтной структуры, а именно перехватом водосборного бассейна р. Автаткууль, впадающей непосредственно в Анадырский лиман, правыми притоками р. Великой.

Сукцессионный тип графических моделей. Данный тип графических построений представляет собой частный случай эволюционных и динамических моделей, показывающих развитие или функционирование ландшафтов во времени как в условиях внешнего воздействия, так и без такового (эндогенетические сукцессии). В этом плане могут быть интересны разработанные модели механизма устойчивости коренных мерзлотных ландшафтов кочкарных мохово-пушицевых тундр вершин низких увалов и пологих склонов при пирогенном, механическом воздействии и химическом загрязнении (рис. 2, а, б). Основой для разработки моделей послужили разрезы почвенных профилей с фиксированными по времени тундровыми пожарами и антропогенными воздействиями [7].

Сукцессионный ряд коренной для Анадырской низменности ландшафтной фации представлен в виде круговой диаграммы — эксцентрика вращения. В нем две левосторонние спирали, одна из которых показывает увеличение во времени мощности органогенных горизонтов почв, другая характеризует изменение глубины сезонной оттайки. Эксцентрик разбит на четыре сектора, соответствующих стадиям сукцессии почвенно-растительного покрова. Для каждой стадии условными знаками показаны изменения структуры растительного покрова, а именно: смена травяных сообществ (I) разнотравно-ерничковыми (II), далее замена редкокочкарными разнотравно-мохово-кустарничковыми тундрами (III) и на заключительной климаксовой стадии формирование кустарничковых мохово-пушицевых тундр (IV). Ведущим фактором сукцессионного ряда было формирование и развитие органогенного горизонта дерновых почв, который на стадии сингенеза выступал в роли «обеззараживающего» покрова, а в эндэкогенетическую фазу сукцессии стал теплоизолятором и стабилизировал водно-мерзлотный режим кровли многолетней мерзлоты.

На первой модели дерновый покров нейтрализует слой золы и пепла или оттаявший геохимически активный верхний слой многолетнемерзлой почвы. Далее, с формированием органогенного горизонта почв стабилизируется тепловой режим и происходит «подъем» мерзлой кровли к поверхности (рис. 2, а).

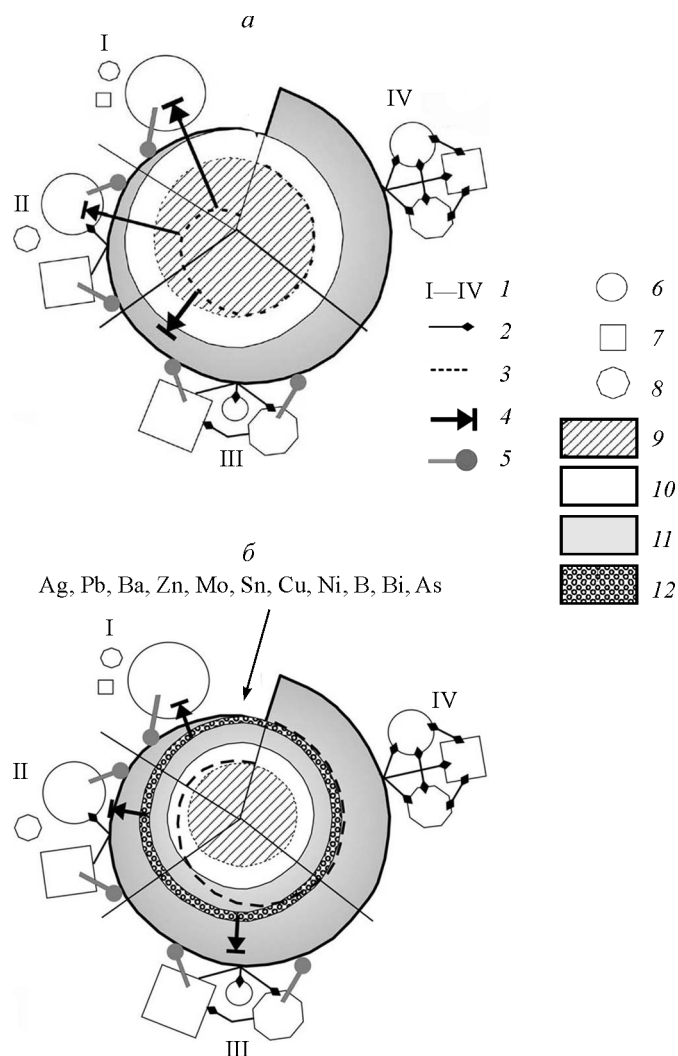


Рис. 2. Модель устойчивости тундр при пирогенном, механическом (а) и химическом (б) воздействии.

1 — стадии самовосстановления ландшафта (см. в тексте); 2 — взаимодействие растений через биокосную среду; 3 — граница сезонной оттайки; 4 — абиогенные геохимические потоки; 5 — средообразующее воздействие растений на биокосную и абиогенную среды ландшафта; доминантные группы растений: кочкообразующие травы и разнотравье (6), кустарнички и кустарники (7), зеленые мхи и сфагны (8); 9 — невыветрелые многолетнемерзлые горные породы и грунты; 10 — органоминеральные горизонты почв; 11 — органогенные горизонты почв; 12 — геохимически активные отходы, сбросы, выбросы.

Во второй модели геохимически активные отходы (в изученном разрезе сухие шлаки) изолируются органогенными почвами и переходят в мерзлое состояние (рис. 2, б). Продолжительность цикла порядка 30 лет. Несмотря на всю условность моделей, они достаточно наглядно описывают результаты аналитических исследований и натурных наблюдений.

Модель мерзлотного геохимического ландшафта. В целях выяснения факторов, определяющих закономерности смены фаций и урочищ в последо-

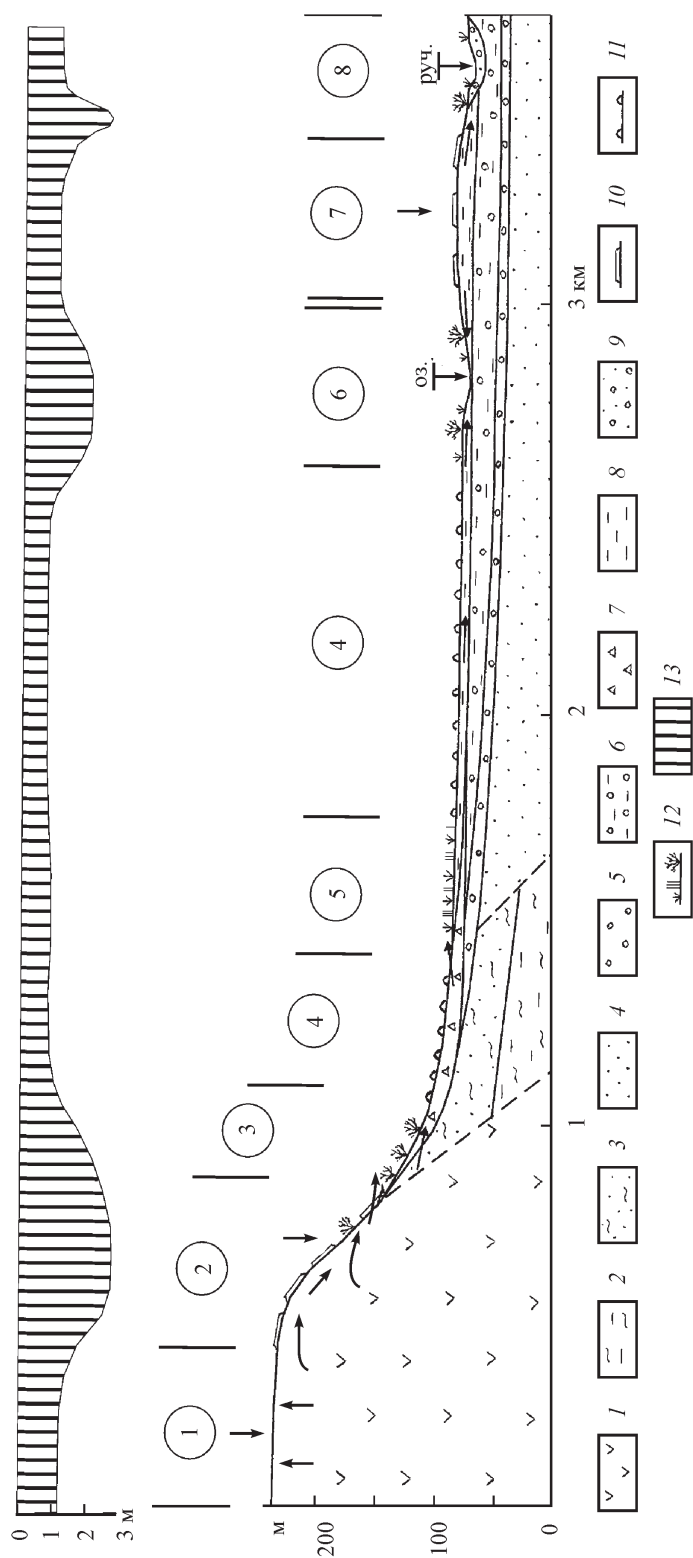


Рис. 3. Типовой ландшафтно-геохимический профиль на геологическом разрезе периферии Золотогорского поднятия.

1 — экструзия андезитов; отложения мелового периода: аргиллиты (2) и метапесчаники (3); 4 — нерасчлененные неоген-палеогеновые отложения преимущественно песчаного состава; ледниковые, водно-ледниковые позднечетвертичные отложения: валуны (5) и валунные суглинки (6); 7 — делювиально-пролювиальные отложения (пески, суглинки со щебнем и древесной андезитов); 8 — суглинки, супеси, 9 — аллювий; растительный покров: щебнистые, пятнистые мохово-лишайниково-кустарничковые тундры (10), кочкарные кустарничковые мохово-пушистые тундры (11), злаки, разнотравье, кустарники ивы и ольхи (12); 13 — сезонноталый слой. Обозначения типов ПТК (цифры в кружках) даны в тексте.

вательности высотной дифференциации тундровых ландшафтов низкогорий, обрамляющих Анадырскую низменность, был построен типовой ландшафтно-геохимический профиль, который в общем виде представляет собой графическую модель вещественно-энергетического типа (рис. 3). Для него был составлен схематический геологический разрез, на котором вне масштаба показана морфология кровли многолетнемерзлых пород. Элементарные ландшафты профиля в той или иной мере соответствовали фациям и урочищам участка «Зеленая зона» [7]. Всего было выделено 8 сопряженных в пространстве территориальных комплексов.

1. Сухие пятнистые щебнистые мохово-кустарничковые горные тундры вершин (элювиальный ландшафт).

2. Щебнистые лишайниково-мохово-кустарничковые горные тундры крутых склонов с отдельными кустами ольхи (трансэлювиальный ландшафт).

3. Массивные заросли ольхи горных подножий с ерником и разнотравьем по прогалинам (элювиально-аккумулятивный ландшафт).

4. Влажные, затопляемые в начале лета луга горных подножий с обильной разнотравно-злаковой растительностью с ерником и мхами (поверхностный трансупераквальный ландшафт).

5. Умеренно влажные кочкарные кустарничково-мохово-пушицевые тундры пологих склонов (супераквальный ландшафт).

6. Термокарстовые сезонно-проточные озера с разнотравными ивняками и мохово-кустарничковыми буграми по берегам (аквальный и супераквальный ландшафты).

7. Дренируемые сухие речные и озерные террасы, покрытые кустарничковыми лишайниково-моховыми и разнотравно-ерниковыми моховыми тундрами (поверхностный аккумулятивно-элювиальный ландшафт).

8. Тундровый ручей с заболоченной поймой с осоково-кустарничковой (ивовой) сфагново-моховой тундровой растительностью (трансаквальный ландшафт).

На ландшафтно-геохимическом профиле элементарные ландшафты объединяются в 2 геохимических ландшафта (каскадные ландшафтно-геохимические системы, по М. А. Глазовской, 1964) с термокарстовым озером (1—6) и тундровым ручьем (7—8) в качестве бассейнов промежуточного стока [2]. Отличаются ландшафтно-геохимические системы источниками и условиями питания, морфологией и глубиной залегания кровли многолетнемерзлых пород, мощностью органогенных горизонтов тундровых почв. В данном случае это три ведущих фактора дифференциации и специализации ландшафтов. В комплексе их взаимодействие стало причиной формирования луговой полосы с обильным травостоем посреди коренных кочкарных кустарничковых мохово-пушицевых тундр, в месте выхода напорных надмерзлотных вод дренировавших кору выветривания горного массива (рис. 3). Морфология и высотное расположение ольховников (парковые или массивные заросли), в большей мере зависят от энергетики склона (крутизны, экспозиции) и в меньшей степени — от минерального питания.

Другой важный аспект графической модели касается условий разграничения элювиальных (1) и поверхностных аккумулятивно-элювиальных (7) элементарных геохимических ландшафтов в условиях изменения по профилю мощности сезонно-талого слоя (рис. 3). Данная проблема до настоящего времени почти не обсуждалась и остается мало изученной [2]. Представляется, что степень развития элювиального процесса находится во взаимосвязи с сомкну-

сии почвенно-растительного покрова, времени восстановления тундрового ландшафта после локального механического и химического воздействия. В левой треугольной области на график вынесены изоплеты уклона склонов низких тундровых увалов в диапазоне от 3 до 0 град. Соответственно в правом треугольнике диаграммы обозначены изоплеты крутизны склонов гор от 0 до 35 град. В ячейки означенных областей вписаны сокращенные наименования фаций и урочищ: слева — ландшафтов равнинных и низменных тундр, справа — тундровых ландшафтов предгорий и подножий гор. Вершину треугольника занимают коренные ландшафты Анадырской низменности — кочкарные умеренно влажные кустарничковые мохово-пушицевые тундры уплощенных вершин и пологих склонов. Гипотенузы треугольников, изображенные в виде векторов, показывают слева высотную дифференциацию, справа высотную поясность ландшафтов южных кустарниковых тундр центральной Чукотки.

При всей упрощенности модели она имеет главное достоинство — наглядность изображения ландшафтного разнообразия и роли рельефа как главного фактора, его определяющего. Последнее позволяет перейти ко второй стадии моделирования, а именно к изучению динамики ландшафтной структуры путем изменения граничных условий модели: например, изменения базиса эрозии при морских трансгрессиях или регрессиях, связанных с ледниковыми эпохами.

Ограничения в использовании цветовой гаммы рисунка не позволили показать в графической модели характер и степень влияния на ландшафтную зональность глубины залегания кровли многолетнемерзлой почвы, которая в свою очередь влияет на обводненность ландшафта, минеральное питание и тепловое обеспечение растений. Но в данном случае эти факторы тесно связаны с рельефом и через крутизну склонов подтверждают объективность предложенной дифференциации.

Заключение. Таким образом, рассмотрены четыре типа графических моделей, приемы их построения, возможности применения в качестве инструмента изучения ландшафтов, иллюстрации природных процессов и явлений. Безусловно, затронутая тема не исчерпана. Одной из задач данной работы было привлечение внимания к возможности более широкого распространения практики графического моделирования на другие физико-географические области и районы. Особенно это касается опыта составления универсальных графических моделей, которые наряду с ландшафтной картой могли бы претендовать на роль характеристики биологического разнообразия, закономерностей и особенностей функционирования природных комплексов.

Работа выполнена при поддержке ДВО РАН (проект № 12-III-A-08-199).

Список литературы

- [1] Васильковский А. П. Новые данные о границах распространения деревьев и кустарников — ценозообразователей на Крайнем Северо-Востоке СССР // Материалы по геологии и полезным ископаемым Северо-Востока СССР. Вып. 13. Магадан, 1958. С. 187—204.
- [2] Глазовская М. А. Геохимические основы типологии и методики исследования природных ландшафтов. М.: Изд-во МГУ, 1964. 229 с.
- [3] Исаченко А. Г. Карта ландшафтов России. М-б 1 : 20 000 000 // Экологический атлас России. СПб.: Карта, 2002. С. 6.

- [4] Математическое моделирование с применением графических построений в EXCEL: Учебное пособие / А. А. Черный. Пенза: Пензенский государственный университет, 2010. 91 с.
- [5] Результаты исследования экологического состояния природной среды территории Западно-Озерного газового месторождения: отчет о НИР по договору от 20-09-01 ЗАО НПЦ «СибГео»: Чукотский филиал СВКНИИ ДВО РАН / Рук. В. С. Кривошеков; исп. О. Д. Трегубов, А. Н. Котов, В. Ю. Разживин и др. Анадырь: ЧФ СВКНИИ ДВО РАН, 2001. 159 с.
- [6] Реймерс Н. Ф. Природопользование: словарь-справочник. М.: Мысль, 1990. 637 с.
- [7] Трегубов О. Д. Геохимия урбанизированных ландшафтов Чукотки. Магадан: МПО СВНЦ ДВО РАН, 1997. 120 с.
- [8] Трегубов О. Д. Об устойчивости тундр к техногенному воздействию и глобальным изменениям среды // Вестн. ДВО РАН. 2010. № 4. С. 79—89.
- [9] Трегубов О. Д. Палеографические реконструкции как метод поисков источников водоснабжения для газового промысла Западно-Озерного месторождения // Вестн. СВНЦ ДВО РАН. 2010. № 4. С. 20—27.
- [10] Трегубов О. Д. Факторы и механизмы самовосстановления горнотундровых ландшафтов Чукотки // География и природные ресурсы. 2010. № 3. С. 38—43.
- [11] EDU-Main Математика и статистика. Учебник по системе Statistica. Электронный ресурс: <http://edu-main.narod.ru/math/statistica/>

Анадырь
 mailto:tregubov2@yandex.ru
 Северо-Восточный комплексный
 научно-исследовательский институт ДВО РАН

Поступило в редакцию
 2 августа 2012 г.

Изв. РГО. 2012. Т. 144. Вып. 6

© В. Г. ЧУВАРДИНСКИЙ

О ТЕМПАХ ИСЧЕЗНОВЕНИЯ ЛЕДНИКОВЫХ ПОКРОВОВ

Известно, что Антарктический ледниковый покров начал формироваться еще в олигоцене — более 30 млн л. н., а ледниковый щит, близкий к современному, образовался на рубеже среднего и позднего миоцена — 11—14 млн л. н. [2, 4, 12]. По заключению Л. Д. Долгушина и Г. Б. Осиповой [2], «Антарктический ледниковый покров очень устойчив и за последние 30 млн лет испытывал лишь незначительные изменения размеров и формы».

Ледниковый покров Гренландии образовался в среднем миоцене, а 3—5 млн л. н. достиг размеров, близких к современным [12]. И. А. Зотиков [3] особо подчеркивает стационарность ледниковых покровов Антарктиды и Гренландии, «размеры которых почти не менялись за последние несколько миллионов лет».

А какова была продолжительность последней ледниковой эпохи в Европе и Северной Америке? Согласно существующим схемам, общая продолжительность этой ледниковой эпохи в Европе не более 14—16 тыс. лет. В монографической сводке, посвященной хронологии последней ледниковой эпохи, Н. С. Чеботарева и И. А. Макарычева [6] определяют начало валдайского оле-