

О ГЕНЕЗИСЕ ЛЕДОВОГО КОМПЛЕКСА И АЛАСНОГО РЕЛЬЕФА

В. Л. Суходровский

Институт географии РАН, 109017, Москва, Старомонетный пер., 29, Россия

В статье отстаивается мнение, что ледовый комплекс (едома) — результат позднелейстоценового накопления пойменных и, отчасти, делювиально-пролювиальных отложений. Проанализированы перигляциальные условия криолитогенеза. Доказывается, что аласные озера унаследованно развиваются с допозднелейстоценового времени, претерпевая термокарстовую переработку; одно из следствий этой переработки — миграция аласных озер.

Поймы рек, делювиально-пролювиальные шлейфы, криогенное выветривание, термокарст, миграция озер

ON THE ORIGIN OF „ICE COMPLEX“ AND „ALAS“ TOPOGRAPHY

V. L. Sukhodrovsky

Institute of Geography RAS, 109017, Moscow, Staromonetny per., 29, Russia

A concept of the „ice complex“, or yedoma, resulting from the Late Pleistocene accumulation of flood-plain and, partly, deluvial and proluvial deposits, is defended. Periglacial conditions of cryolithogenesis are analysed. The evidence at hand suggest that „Alas“-lakes have been inherited from pre-Late Pleistocene time; they have undergone a considerable reworking by thermokarst processes. The occurrence of the Alas-lake migration has been a consequence of this process.

River flood plains, deluvial-proluvial fans, cryogenic weathering, thermokarst, migration of lakes

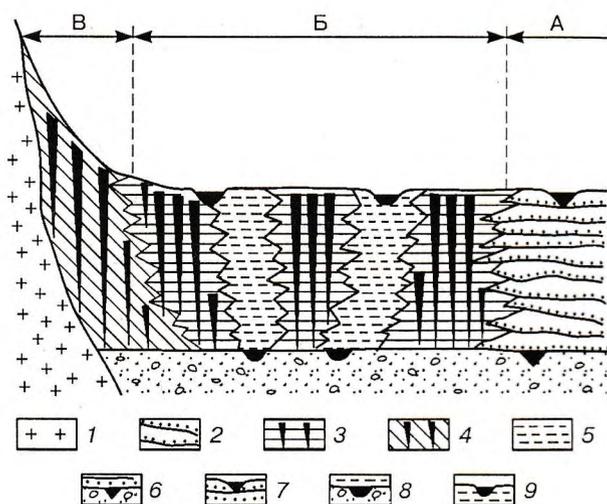
ВВЕДЕНИЕ

Ледовым комплексом принято считать высокольдистые супесчано-суглинистые, преимущественно алевритовые отложения, пронизанные повторно-жильными льдами. Толща этих отложений мощностью до нескольких десятков метров, которую обычно называют едомой, получила распространение в Центральной и Северной Якутии, а также на Чукотке. По общепринятому заключению ледовый комплекс был накоплен в позднелейстоценовое, точнее говоря, в зырянско-сартанское ледниковое время. Характерной чертой рельефа, сложенного ледовым комплексом, являются аласы или котловины глубиной до 30—40 м с так называемыми термокарстовыми озерами на их дне.

В монографии [Суходровский, 1979] рассмотрена история изучения едомы и предложена гипотеза, согласно которой слагающие ее отложения накапливались на речной пойме, но за пределами зоны (пояса) миграции рек (рисунок). Эта удаленная от русел рек часть поймы названа зоной застаивания паводковых вод. В зоне миграции рек накапливались преимущественно пески русловой фации, а в зоне застаивания паводковых вод — супесчано-суглинистые отложения, что сопровождалось образованием сингенетических повторно-жильных подземных льдов. Нарастание супесчано-суглинистой толщи нахо-

дилось в динамическом равновесии с накоплением песков в зоне миграции рек. В литературе упорно отстаивалась и эоловая гипотеза происхождения едомы [Томирдиаро, 1980], но она была обоснованно раскритикована Г. Ф. Грависом [1997], предложившим, в свою очередь, аллювиально-пролювиальную модель. Разделяя вывод о несостоятельности эоловой гипотезы ее генезиса, нельзя согласиться и с некоторой переоценкой роли пролювиальных процессов в решении названной проблемы и вот почему. Трудно даже представить, что на любых участках речных долин (кроме их верховьев) накапливался главным образом материал, поступающий с их склонов, а не с вышележащих по течению рек обширных площадей водосборов. Именно реки играли главную роль в доставке на поймы взвешенного и влекомого материала.

Вместе с тем приходится признать, что роль пролювиальных, а также делювиальных процессов в накоплении ледового комплекса ранее нами недостаточно учитывалась. Поэтому правильнее подразделять позднелейстоценовую едому на две зоны: пойменной и склоновой аккумуляции (см. рисунок). Роль делювиально-пролювиальных процессов проявлялась в формировании сопрягающихся с поймами рек склоновых шлейфов. Состав отложений последних мало чем отлича-



Принципиальная схема формирования позднеплейстоценового ледового комплекса и унаследованного развития пойменных озер, которые в голоцене преобразуются в аласные озера.

А — зона миграции рек и накопления отложений руслового аллювия; Б — зона застоя паводковых вод и накопления отложений пойменного ледового комплекса; В — зона развития делювиально-пролювиальных процессов и накопления отложений склонового ледового комплекса.

1 — коренные породы, 2 — преимущественно песчаный русловый аллювий, 3 — супесчано-суглинистые отложения с сингенетическими повторно-жильными льдами пойменного ледового комплекса, 4 — супесчано-суглинистые отложения с сингенетическими повторно-жильными льдами склонового ледового комплекса, 5 — супесчано-суглинистые заторфованные озерные отложения, 6 — погребенное допозднеплейстоценовое русло реки, 7 — река в конце позднеплейстоценового времени, 8 — погребенная котловина допозднеплейстоценового пойменного озера, 9 — пойменное озеро в конце позднеплейстоценового времени.

ется от состава таковых пойменной едомы, если не считать несколько меньшую мощность пронизывающих шлейфы повторно-жильных льдов. По мнению В. Н. Конищева [1978], склоновые отложения ледового комплекса особенно широко развиты в предгорьях и низкогорьях Северной Якутии. Они представлены переработанными криогенным выветриванием льдистыми лессовидными отложениями, слагающими террасоувалы.

СУЩНОСТЬ ОБРАЗОВАНИЯ ЛЕДОВОГО КОМПЛЕКСА В ПОЗДНЕМ ПЛЕЙСТОЦЕНЕ

Уникальность строения пойменной и склоновой едом, которые формировались в позднем плейстоцене, нельзя представить без анализа палеогеографических условий ледникового времени, сложившихся в Якутии и на Чукотке. Горы и даже плоскогорья, окружавшие речные долины региона, находились в сфере деятельности ледников. В литературе приведены также доказательства существования в рассматриваемое вре-

мя арктического ледникового покрова, подпрудившего реки и изменившего их направление с северного на западное [Гросвальд, Спектор, 1993]. Течение этих рек было замедленным, особенно вблизи ледникового покрова. Главная же особенность деятельности рек заключалась в существенно разросшейся площади пойменного осадконакопления. Причиной тому были ежегодно повторяющиеся высокие паводки или даже наводнения, которые вызывались заторами речного льда, особенно в маргинальных (по отношению к ледниковому покрову) долинах прорыва. Результатом деятельности потоков глетчерного льда явились продолговатые озера, имеющие северную или северо-западную ориентацию. На их берегах наблюдаются линейные и дугообразные гряды. Заметим, что ледниковые озера приурочены к наиболее низким местам побережья, а именно, к дельтам позднеплейстоценовых рек, в сторону которых как раз и были направлены ледниковые потоки. Климатические условия сартанско-зырянского времени, соответствовавшего гиперзональной (ледниковой) эпохе, характеризовались более низкими температурами и недостаточным увлажнением [Величко, 1973; Каплина, Кузнецова, 1975].

Современных аналогов подобных условий не существует, хотя некоторое сходство с ними обнаруживается при анализе данных о протекающих в настоящее время перигляциальных процессах. К наиболее изученным ледниковым районам в этом плане относится, пожалуй, Земля Франца-Иосифа (ЗФИ), 87 % территории которой занято льдом. Наблюдения на ЗФИ [Суходровский, 1967] свидетельствуют о том, что на площади, которая освободилась ото льда только в голоцене, рыхлые отложения песчано-суглинистого состава насыщены сегрегационными и повторно-жильными льдами мощностью 1—1,5 м. Подобные же льды обнаружены в составе склоновых шлейфов, отличающихся преобладанием грубообломочного материала. В отложениях флювиогляциальных потоков явно преобладают пылеватые и глинистые фракции, ставшие результатом экзарационной деятельности ледников. Деятельность талых водотоков в начале периодов таяния подчинена рельефу, создаваемому снежным покровом. В это время сплошь и рядом образуются временные озера в результате подпруживания водотоков снежными заносами, содержащими инфильтрационный лед. Пока сохраняются снежные плотины, на дне этих озер накапливаются илстые отложения. Значительная разреженность травяного покрова благоприятствует тому, что господствующий летом ветер высушивает поверхностные отложения и создает псевдоаридные формы рельефа. К ним относятся плащи навейного песка, микродюны,

а в понижениях с высохшей водой типичные такыры с доступными для ветра корочками высохшего ила. Поднимаемая ветрами пыль, а иногда и мелкозернистый песок осаждаются в ветровой тени скал и холмов, а также на поверхности ледниковых куполов. Нижние части этих куполов, как и присклоновые снежники, благодаря этому приобретают летом серовато-бурый цвет.

Исследование (в том числе экспериментальное) процесса криогенного (морозного) выветривания на ЗФИ показало следующее. Разрушение поверхностного слоя увлажненных горных пород с освобождением песчаных (а главным образом пылеватых и глинистых) частиц протекает не менее чем на порядок быстрее, чем выветривание сухих пород. Интенсивность этого процесса даже внутри увлажненного сезонно-оттаивающего слоя значительно больше, чем на дренированных скальных обнажениях. Продукты тонкого раздробления пород на склонах, как и поставляемый на них ветром преимущественно пылеватый материал, смываются во время таяния снега. В нижних частях таких склонов формируются делювиально-пролювиальные шлейфы. Их состав более грубый, чем состав склоновой едомы Якутии, что, видимо, объясняется значительными отличиями геологических и климатических условий.

Приведенные сведения об условиях рельефообразования на ЗФИ следует рассматривать как вспомогательный материал, позволяющий лишь как-то приблизиться к разгадке феномена едомы. Одним из источников преимущественно алевритового материала, который поступал на едомную пойму рек, по всей видимости, следует считать интенсивное криогенное выветривание, продуцировавшее преимущественно пылеватые фракции. В. Н. Конищев [1997] предложил криолитогенный метод оценки палеотемпературных условий формирования ледового комплекса. Им выявлена зависимость гранулометрического состава продуктов криогенной дезинтеграции различных минералов от среднегодовых температур грунтов. Анализ едомных отложений показал, что они накапливались при средних температурах ниже $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$, а в Северной Якутии около $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Другим и, может быть, более важным источником накопления едомной толщи была экзарационная деятельность ледников. Производимая ими морена перемывалась водными потоками, а затем реками, которые поставляли материал на нижележащие по течению поймы. В поступлении супесчано-суглинистого материала на склоны участвовало опять-таки криогенное выветривание горных пород, слагающих соответствующие склоны. Но наибольшую роль играл перенос пыли из зоны миграции рек, в пределах

которой растительности было несравненно меньше, чем в более увлажненной зоне застаивания паводковых вод. Очаги современной деятельности ветра в виде дефляционных западин и тукуланов нередко можно наблюдать и на севере Сибири и на Чукотке. В периоды таяния снега накапливавшийся на склонах мелкозем как раз и участвовал в формировании делювиально-пролювиальных шлейфов, что сопровождалось сингенетическим льдообразованием. О водном, а не эоловом происхождении этих шлейфов свидетельствует их полого-вогнутый профиль, следы слоистости отложений и, наконец, высокая льдистость. Отличительной чертой современного рельефа склоновой едомы следует считать наличие на шлейфах деллей, которые вниз по склонам иногда сменяются эрозионными врезамми. Систему гряд между этими врезамми принято называть террасоувалами. Аласные озера можно наблюдать лишь в подножиях древних шлейфов.

Что касается пойменной едомы, то ее обнажения, описанные в долинах рек Яны, Лены, Индигирки и Колымы, пользуются фрагментарным распространением. Подмываемые реками песчаные террасы, которые в позднем плейстоцене являлись зоной миграции рек (т. е. они разновозрастны с едомой) прослеживаются на гораздо большем протяжении. Сказанное свидетельствует о некотором смещении современного пояса миграции рек по отношению к позднплейстоценовому, благодаря чему и создается возможность наблюдать разрезы едомной толщи.

О ПРОИСХОЖДЕНИИ АЛАСНОГО РЕЛЬЕФА

Изучение рельефа пойменной едомы с учетом всех имеющихся сведений об аккумулятивных равнинах криолитозоны приводит к убеждению, что безозерных периодов на днищах речных долин и котловин никогда не существовало [Суходровский, 2000]. Правда, их заозеренность, как и высота уровня воды зависела от влажностных колебаний климата. Но полного исчезновения озер не происходило, о чем можно судить по их наличию даже в тех равнинных районах криолитозоны, где выпадает менее 200 мм осадков в год. С большой долей уверенности можно предполагать, что в долинах рек Якутии и Чукотки озера существовали и в период, предшествовавший накоплению едомных отложений, т. е. в доледниковое время (см. рисунок).

К числу озер, давших начало развитию аласов, можно отнести, прежде всего, речные старицы, на что впервые обратила внимание Н. А. Вельмина [1957], хотя она ошибочно допускала возможность их формирования за пределами зоны миграции рек. Унаследованное раз-

витие, видимо, получили и более значительные по величине древние озера подпрудного происхождения. Плотинами, которые перегораживали сток паводковых вод, являлись главным образом конусы выноса притоков основных рек. Подобные образования очень характерны и для днищ речных долин современных рек.

Древние озера любого происхождения не могли быть полностью погребены под едомными отложениями в силу неодинакового геоморфологического эффекта осадконакопления в субаквальных и субаэральных условиях. Если накопление осадков на дне озер приводило к их обмелению, то этот же процесс на межозерье сопровождался сингенетическим льдообразованием, а, следовательно, и площадным пучением. Иными словами, в осадконакоплении вокруг озер участвовал не только минеральный материал, но и подземный лед. Повышение днищ озерных котловин могло даже отставать от наращивания поверхности межозерий, что способствовало углублению их котловин.

Важной особенностью аласных озер следует считать их миграцию, вызванную термоабразионным разрушением обрывистых берегов и термокарстовой просадкой примыкающего к ним дна. Подобное термокарстовое преобразование озер, активно протекавшее в периоды высокой обводненности равнин, считается общепризнанным фактом. Роль миграции озер иногда переоценивалась и доводилась до абсурда, когда речь шла о беспрепятственном блуждании озер по едомной равнине [Томирдиаро, 1970]. Правильнее считать, что миграция аласных озер, хотя и приводила к расширению вмещающих их котловин, но была пространственно ограниченной и со временем затухала вплоть до полного ее прекращения. Главная причина этому — освоение едомных равнин эрозионной сетью, русла которой как бы нанизывали на себя озера, образуя озерные цепочки. Точнее говоря, между озерами возникали термоэрозионные протоки, на склонах которых развивалась солифлюкция.

Так формировались и продолжают развиваться аласные долины, обстоятельно изученные П. А. Соловьевым [1973]. Термоэрозионное врезание протоков и сток из озер приводили не только к снижению уровня их воды, но и к выносу взмучиваемого ветром донного материала, на что впервые обратил внимание Н. Н. Романовский [1977]. В итоге глубина аласов увеличивалась, а уровень воды в озерах снижался, что как раз и вело к затуханию интенсивности миграции водоемов. Преобладающая часть аласных озер, расположенная на дне котловин глубиной 30—40 м, лишена каких-либо признаков современной термокарстовой обработки.

Главным результатом происшедшей в прошлом миграции озер, которая могла менять свое направление вплоть до противоположного, являлось образование так называемых таберальных отложений. Речь идет о тех едомных отложениях, которые были затоплены сместившимися в их сторону озерами, что естественно становилось причиной вытаивания сингенетических подземных льдов. Мнение, согласно которому такие отложения якобы свидетельствуют о начале образования термокарстовых озер, не имеет под собой почвы. Следовательно, и возраст таберальных отложений вряд ли связан с потеплениями климата, в частности с голоценовым оптимумом. Имеющиеся радиоуглеродные датировки озерных и аласных отложений говорят по крайней мере о их доголоценовом и „запредельном“ возрасте [Костюкевич и др., 1977; Воскресенский, Плахт, 1982; Ложкин и др., 1995].

О фактически непрерывном развитии на едомной равнине озер с самого начала накопления соответствующих отложений можно судить по исследованиям А. Н. Котова [1998] на побережье Восточно-Сибирского моря. Им описан уникальный 6-километровый разрез аласных отложений мощностью 20 м, которые были накоплены на дне котловины, врезанной в едому высотой (над уровнем моря) 54 м. В работе дан комплексный криофациальный анализ отложений аласного и ледового комплексов, включающий характеристику гранулометрического состава и растительного детрита. Приведены сведения и о водорастворимых солях, а также об изотопно-кислородном составе позднеплейстоценовых повторно-жильных льдов. Основываясь на полученных данных, автор выделил четыре этапа криолитогенеза в регионе. На первом этапе происходило формирование ледового комплекса. На втором развивался термокарст и шло накопление озерных и аласных отложений; и то и другое было связано с потеплением климата. На третьем этапе вновь преобладало накопление пород ледового комплекса, а на четвертом оно опять сменилось массовым проявлением термокарста.

Точка зрения А. Н. Котова [1998] на флуктуации климата достаточно убедительна, однако его вывод об этапах формирования криолитогенных пород нельзя считать корректным. Для такого широкого обобщения явно недостаточно только стратиграфических сведений, почерпнутых при изучении одного разреза. Более того, этот вывод не подтверждается фактическим материалом самого автора. Из приведенной им блок-диаграммы видно, что перекрытие озерных и аласных отложений ледовым комплексом было выявлено только в трех из двенадцати расчисток. Блок-диаграмма лишь доказывает, что едома всегда была заозеренной, хотя степень ее обвод-

ненности в засушливые периоды заметно сокращалась, что как раз и отражено в описании трех расчисток. Ошибочным представляется и мнение о зарождении термокарстовых озер в периоды климатических потеплений на втором и четвертом этапах. Нет необходимости доказывать, что повышение летних температур приводит к увеличению испарения воды, а значит и к снижению ее уровня в озерах, что резко отрицательно сказывается на активности рассматриваемого процесса. Аргументом, подтверждающим сказанное, служит тот факт, что развитие современного термокарста в тундре идет активнее, чем в южных районах криолитозоны.

Из той же блок-диаграммы следует, что озерные и таберальные отложения сменяют друг друга вдоль разреза, что свидетельствует о прошлой миграции озера в ходе накопления пород ледового комплекса. Если между озерными отложениями прослеживается даже 5-метровая пачка таберальных отложений, то это еще не означает полного исчезновения озера. Последнее могло просто мигрировать на какое-то время, возможно, в сторону моря. Судя по раннеголоценовой датировке верхней пачки аласных отложений, озеро было спущено в названное время в итоге термоэрозионного врезания вытекавшего из него ручья и последующего термоабразионного разрушения морем обрывистого берега. Не подкреплена фактическим материалом и приведенная автором схема, согласно которой под озерами, образовавшимися в течение третьего этапа, якобы еще сохраняются едомные отложения, содержащие повторно-жильные льды.

Итак, аласные озера имеют скорее всего флювиальное происхождение, хотя они и претерпели существенную термокарстовую переработку, проявившуюся в их миграции. Сказанное не исключает возможности образования и чисто термокарстовых форм рельефа на межлаласье в результате главным образом антропогенных причин. Глубина возникающих таким образом озерков обычно не превышает мощности образующегося зимой льда, а это исключает прогрессивное развитие процесса. Более того, для разрастания термокарстовых озер необходим положительный водный баланс, что возможно лишь в условиях достаточного поступления воды извне. Вот почему до последнего времени не удавались опыты по искусственному созданию термокарстовых озер даже с применением технических средств [Суходровский, 1979]. Правда, прогрессивный термокарст на едоме в принципе возможен, если, например, соорудить водохранилище глубиной не менее 2 м.

ВЫВОДЫ

1. Позднеплейстоценовый ледовый комплекс (едома), представленный пойменными и,

отчасти, делювиально-пролювиальными супесчано-суглинистыми отложениями, накоплен в суровых климатических условиях зырянско-сартанского времени, когда в регионе господствовали процессы ледниковой экзарации и криогенного выветривания горных пород.

2. В делювиально-пролювиальных процессах на склоновых шлейфах участвовали тонкозернистые продукты криогенного выветривания и эоловый материал, поставлявшийся ветрами из зоны миграции рек.

3. Характерные для пойменного ледового комплекса аласные впадины с озерами на дне — результат унаследованного развития доплейстоценовых озер, которые претерпели термокарстовую переработку, проявившуюся в ограниченной площади их миграции.

4. Освоение едомы эрозионной сетью приводит к постепенному затуханию миграции аласных озер, а затем к их исчезновению.

5. На межлаласье образуются иногда антропогенно-обусловленные термокарстовые озерки, но их разрастание, зависимое от притока воды извне, со временем прекращается. Прогрессивное развитие термокарста возможно лишь как результат создания водохранилищ глубиной не менее 2 м.

Литература

- Величко А.А. Природный процесс в плейстоцене. М., Наука, 1973, 256 с.
- Вельмина Н.А. К вопросу о происхождении замкнутых (аласных) впадин Центральной Якутии // Изв. АН СССР, сер. геогр., 1957, № 2, с. 97—106.
- Воскресенский К.С., Плахт И.Р. Возраст аласных котловин прибрежных равнин Севера и геоморфологический метод его определения // Проблемы криолитологии. Вып. 10. М., Изд-во МГУ, 1982, с. 150—157.
- Гравис Г.Ф. Роль флювиальных процессов в развитии пород ледового комплекса // Криосфера Земли, 1997, т. 1, № 2, с. 56—59.
- Гросвальд М.Г., Спектор В.Б. Ледниковый рельеф района Тикси (Западное побережье залива Буор-Хая) // Геоморфология, 1993, № 1, с. 72—82.
- Каплина Т.Н., Кузнецова И.Л. Геотемпературная и климатическая модель эпохи накопления осадков едомной свиты Приморской низменности Якутии // Проблемы палеогеографии лессовых и перигляциальных областей, М., Наука, 1975, с. 170—174.
- Конищев В.Н. Криогенное выветривание как фактор формирования лессовидных образований Северной Евразии: Афтореф. дис. ... д-ра геогр. наук. М., Изд-во МГУ, 1978, 49 с.
- Конищев В.Н. Криолитогенный метод оценки палеотемпературных условий формирования ледового комплекса и субэаральных перигляциальных отложений // Криосфера Земли, 1997, т. 1, № 2, с. 23—28.
- Костюкевич В.В., Дегтярева Г.П., Иванов И.Е., Нестеренко С.А. Радиоуглеродные данные лаборатории Института мерзлотоведения СО АН СССР. Сообщ. 3 // Бюл. Комис. по изуч. четверт. периода АН СССР, 1977, № 47, с. 145—152.

О ГЕНЕЗИСЕ ЛЕДОВОГО КОМПЛЕКСА И АЛАСНОГО РЕЛЬЕФА

- Котов А.Н. Аласный и ледовый комплексы отложений Северо-Западной Чукотки (побережье Восточно-Сибирского моря) // Криосфера Земли. 1998, т. II, № 1, с. 11—18.
- Ложкин А.В., Трумпе М.А., Полуян А.И. и др. Радиоуглеродное датирование верхнечетвертичных отложений северо-востока Азии и Аляски // Эволюция климата и растительности Берингии в позднем кайнозое. Магадан, СВКНИИ ДВО РАН, 1995, с. 169—184.
- Романовский Н.Н. Формирование полигонально-жильных структур. Новосибирск, Наука, 1977, 216 с.
- Соловьев П.А. Аласный термокарстовый рельеф Центральной Якутии. Путеводитель. Якутск, Ин-т мерзлотоведения СО РАН, 1973, 47 с.
- Суходровский В.Л. Рельефообразование в перигляциальных условиях (на примере Земли Франца-Иосифа). М., Наука, 1967, 120 с.
- Суходровский В.Л. Экзогенное рельефообразование в криолитозоне. М., Наука, 1979, 280 с.
- Суходровский В.Л. Роль термокарста в формировании рельефа северных аккумулятивных равнин // Геоморфология на рубеже XXI века. IV Щукинские чтения (труды). М., Изд-во МГУ, 2000, с. 468—471.
- Томирдиаро С.В. Многолетняя мерзлота // Север Дальнего Востока, серия Природные условия и естественные ресурсы СССР. М., Наука, 1970, с. 133—150.
- Томирдиаро С.В. Лессово-ледовая формация Восточной Сибири в позднем плейстоцене и голоцене. М., Наука, 1980, 185 с.

*Поступила в редакцию
12 сентября 2001 г.*