

УДК 551.435.43(471.2)

А. Н. МАККАВЕЕВ

ОПЫТ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ РЕЛЬЕФООБРАЗУЮЩЕЙ РОЛИ ДРЕВНИХ ЛЕДНИКОВ НА СЕВЕРО-ЗАПАДЕ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ СССР

Обобщаются данные по составу и мощностям четвертичных отложений. На основании изучения баланса материала за четвертичный период доказано, что древние ледники явились в плейстоцене одним из главных рельефообразующих агентов на территории Северо-Запада Европейской части СССР. Особенно подчеркивается роль ледниковой эрозии.

Льды континентальных оледенений плейстоцена производили сложную моделировку рельефа за счет аккумуляции материала, принесенного с более северных территорий, местной экзарации и неравномерного распределения продуктов последней. Представление о Балтийском щите как главной области ледниковой эрозии, а прилегающих частях Русской равнины как области только ледниковой аккумуляции, господствовавшее ранее, теперь несколько изменилось. Значительная подвижность нижних слоев льда центральных областей ледниковых щитов ставится под сомнение (Шумский, 1969; Спиридонов, 1964), так же как и возможность сильного развития здесь экзарации, за исключением первого и последнего этапов каждого оледенения. Более активное движение льда и экзарация ложа происходили, видимо, на некотором отдалении от центра ледникового щита (Асеев, 1966; Серебрянный, 1973). По направлению к краю ледника активность льда падала снова и начинала преобладать аккумуляция ледникового материала. Переход от зоны ледниковой эрозии к краевой аккумулятивной зоне совершался постепенно. Экзарация приобретала очаговый характер, приурочиваясь к склонам долин и возвышенностей, обращенных навстречу движению льда или к дну ложбин ложа, вдоль которых двигались более подвижные потоки льда.

В общем характер распространения и залегания ледниковых отложений на Северо-Западе Европейской части СССР подтверждает правильность подобной схемы. Рассмотрим сначала распределение мощностей четвертичных отложений. Так, вероятной ареной неоднократно повторявшейся экзарации был ряд субмеридиональных низменностей, включая Рижско-Елгавскую (продолжением которой к северу является Рижский залив), депрессия, занятая Псковским и Чудским озерами, а также Ловатская низина. Их выстилает тонкий плащ четвертичных отложений мощностью в 10—20 м, причем они представлены, как правило, моренами и водно-ледниковыми образованиями последнего для данной территории оледенения. Более того, эти отложения, как выяснилось в результате новейших исследований (Последний ледниковый покров на Северо-Западе Европейской части СССР, 1969 и др.), преимущественно относятся ко времени сокращения последнего позднеплейстоценового оледенения. Таким образом, это материал, оставленный ледником при деградации, прикрывший ранее эродированную поверхность. Сходное строение четвертичной толщи (малые мощности и позднеплей-

стоенный возраст этой толщи) имеют и самые северные из возвышенностей, ограничивающих низины. Очевидно, такие возвышенности (например, Пандивере, Ижорская) также ранее являлись ареной экзарации.

Все перечисленные выше низины сужаются к югу и обрамляются с трех сторон, кроме северной, возвышенностями. Последние в целом являлись очагами ледниковой аккумуляции, объемы которой возрастали к югу (Литва, северная Белоруссия), где мощности четвертичной толщи возрастают до 200 м и более. Хотя в строении чехла четвертичных отложений возвышенностей продолжают преобладать ледниковые осадки, но часть их относится к предыдущим среднечетвертичным оледенениям. В полосе краевых образований московского оледенения, тянувшейся от Вильнюса и Минска на Ярославль, преобладают мощности 50—100 м (Асеев, 1967; Спиридонов, 1971). Еще южнее мощности четвертичных осадков резко падают, а в их толще ледниковые отложения не доминируют среди пород иного генезиса.

Кроме распределения мощностей, об эрозионной деятельности льда можно судить и по составу ледниковых отложений, или продуктов их переотложения, которые слагают практически всю четвертичную толщу на Северо-Западе Русской равнины. Эти отложения представлены преимущественно продуктами экзарации осадочного чехла Русской платформы. Материал, принесенный с кристаллического щита, составляет не более 25—30% от общего объема ледниковых отложений. Только валуны, имеющие размер более 1 м в поперечнике, представлены главным образом кристаллическими породами (Рухина, 1973). Петрографический состав более мелких валунов зависит преимущественно от состава подстилающих пород. Согласно данным, приводимым С. В. Яковлевой (1967), самый большой процент валунов осадочных пород в донных моренах наблюдается на эрозионных возвышенностях и в низинах Северо-Запада Русской равнины. Значительно обогащается морена материалом подстилающих пород и после преодоления льдом уступов (Рухина, 1960). Отчетливо прослеживается, что с удалением от выходов кристаллических пород в валунной фракции растет содержание осадочных пород. Например, в моренах на южном берегу Ильменя обломки местных, палеозойских пород составляют до 85% от общего количества валунов (Яковлева, 1966).

В более мелких фракциях материал осадочных пород резко преобладает. В галечной фракции, как показали исследования А. И. Гайгаласа в Литве (Гайгалас, 1959), количество галек осадочных пород доходит почти до 80%. Преобладание местных пород над кристаллическими в галечной фракции отмечено многими авторами (Рухина, 1960, 1973; Кошшин, 1964; Куршс, 1962; Раукас, 1972; Спрингис и др., 1964). Та же картина наблюдается и для гравийных фракций, состав которых в большей степени зависит от литологий местных пород, так как валуны и галька осадочных пород истираются быстрее кристаллических (Куршс, 1962). Даже в Эстонии, в непосредственной близости от кристаллического щита, гравийные фракции в моренах сложены местным материалом почти на 60—80% (Орвику, 1957, 1958). А. В. Раукас (1972) отмечает, что содержание эратического материала в донной морене Эстонии не превышает 5—10%.

В песчано-алевритовых, а тем более глинистых составных частях морены точно определить соотношение кристаллических и осадочных пород невозможно. Но и здесь в составе минералов тяжелой подфракции преобладают минералы, характерные для палеозойских осадочных пород (Раукас, 1972). Е. В. Рухиной (1973) отмечается влияние подстилающих пород на состав глинистой фракции моренных отложений, где в частности обнаруживается большое количество гидрослюд, захваченных из палеозойских пород при эрозии последних ледником. Видимо, песчано-алевритовая и глинистая фракции ледниковых отложений в областях

Северо-Запада формировались в значительной мере за счет легко разрушаемых песчаных и глинистых осадочных пород. Поэтому можно считать, что в их сложении осадочные породы приняли не меньшее участие, чем в формировании гораздо лучше изученных галечно-гравийных фракций.

В среднем толща ледниковых осадков на описываемой территории состоит примерно на 75% из продуктов разрушения осадочных пород.

Очевидно, что о количественных показателях экзарационной и аккумулятивной деятельности четвертичных оледенений можно в какой-то мере судить по объему их отложений. Уравнение баланса материала при формировании четвертичной толщи можно записать в общем виде следующим образом:

$$B_v = V_{\text{кр.}} + V_{\text{осад.}} + V_{\text{пр.}} - V_{\text{вып. реч.}} - V_{\text{вып. лед.}} - V_{\text{вып. мор.}},$$

где B_v — современный объем четвертичных отложений, $V_{\text{кр.}}$ — первичный объем продуктов разрушения ледником кристаллических пород, принесенных с Балтийского щита; $V_{\text{осад.}}$ — первичный объем продуктов разрушения ледником местных осадочных пород; $V_{\text{пр.}}$ — объем материала, принесенного реками и морскими течениями из соседних территорий, или образовавшийся на месте в результате переработки коренных пород флювиальными процессами; $V_{\text{вып. реч.}}$ — объем материала, вынесенного за пределы района реками в межледниковые эпохи и в голоцене; $V_{\text{вып. лед.}}$ — объем материала, вынесенного ледником за пределы данного района; $V_{\text{вып. мор.}}$ — объем материала, удаленного абразией на морском побережье. Сделано допущение, что движение ледника и перемещение ледником материала осуществлялось в меридиональном направлении.

Покажем применение уравнения баланса для территории, на которой представлены и область экзарации и сопряженная с ней область ледниковой аккумуляции. Этому требованию отвечает территория, включающая западную часть Эстонии, почти всю Латвию, большую часть Литвы, север Белоруссии и прилегающие районы Балтики (рисунок). Северным ее пределом будет окраина Балтийского щита. В море расположение этой геологической границы хорошо отбивается при эхолотных исследованиях (Емельянов, 1974). Западная и восточная границы соответствуют приблизительно срединам полос повышенных мощностей морены на субмеридиональных возвышенностях, окаймляющих области бывшей ледниковой экзарации — Рижско-Елгавскую низину, Рижский залив, части Эстонии и акватории Балтийского моря. Будем считать другие половины этих возвышенностей покрытыми осадками, выносившимися из соседних областей экзарации, которые к балансу материала рассматриваемой территории не относятся. На юге в рассматриваемую территорию можно включить ряд возвышенностей в Белоруссии, входящих в состав уже упоминавшейся полосы краевых образований московского и валдайского оледенений. Это Волковысская, Новогрудская возвышенности и части Балтийской и Минской гряд. Конечно, фактически область экзарации не ограничивается на севере границей распространения кристаллических пород, а область аккумуляции на юге — упомянутыми возвышенностями. Выбор границ обусловлен, с одной стороны, необходимостью учитывать положение источника поступления кристаллических пород, а с другой стороны, тем, что за южной границей большую роль в строении четвертичной толщи начинают играть осадки неледникового генезиса. Кроме того, как считают некоторые исследователи (Асеев, 1966; Последний ледниковый покров..., 1969, и др.), в валдайское время большая часть этой территории занималась Рижским или Земгальским ледниковым потоком — участком повышенных скоростей льда в теле ледникового покрова. Эти потоки напоминали выводные ледники. В их центральных частях преобладало экзарационное воздействие на подстилающие породы, а по периферии происходила аккумуляция.

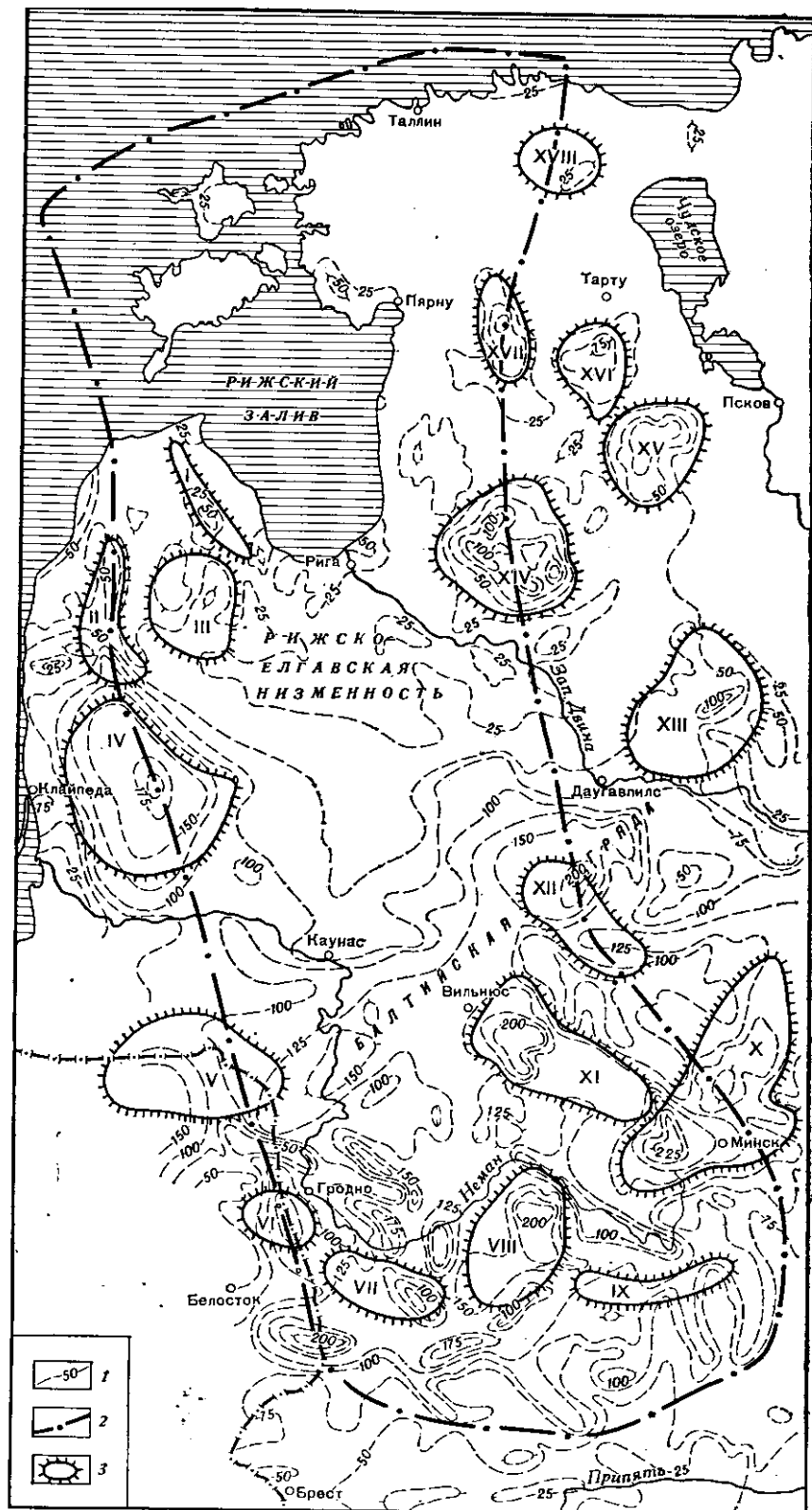


Схема соотношения мощностей четвертичных отложений и современного рельефа
 1 — изопакеты четвертичных отложений через 25 м; 2 — границы рассматриваемой территории; 3 — основные возвышенности современного рельефа; I — Северо-Курземская, II — Западно-Курземская, III — Восточно-Курземская, IV — Жемайтская, V — Сувалкское поозерье, VI — Гродненская, VII — Волковысская, VIII — Новогрудская, IX — Копыльская гряда, X — Минская, XI — Ошмянская, XII — Свенцянская гряда, XIII — Латгальская, XIV — Видзевская, XV — Ханья, XVI — Отепя, XVII — Сакала, XVIII — Пандивере

Попытаемся оценить значение отдельных элементов баланса. Вычисление современного объема четвертичных отложений на данной территории велось по карте мощностей четвертичных отложений, составленной автором с использованием карт М. Ковалевского (Kovalevskis, 1961), В. Чепулите (1956), А. Гайгаласа и др. (1967), карт из книги «Геология антропогена Белоруссии» (1973) и отдельных геологических съемок. Данные о распределении мощностей в акватории Балтики приводятся Е. М. Емельяновым (1974), а в Рижском заливе — В. Г. Ульстом и др. (Ульст и др., 1963).

Очевидно, что данные каждого исследователя в той или иной мере приближенные. Для оценки возможной величины ошибки были проведены подсчеты по нескольким картам мощностей, построенным различными авторами для одной и той же территории, с использованием различного фактического материала. Подобные вычисления были сделаны для нескольких участков. Оказалось, что объемы, определенные по картам различных авторов, отличаются в среднем на 12—14%. Сравнительно небольшая величина расхождения, вероятно, связана с тем, что к настоящему времени на картах выбранной территории уже показаны все существенные черты распределения мощностей четвертичных отложений, а новые данные вносят лишь второстепенные уточнения. С учетом ошибки при измерениях мы приняли, что точность определения современного объема четвертичных отложений составляет около 15%. V_0 для данной территории оказался равен $14\,000 \pm 2100 \text{ км}^3$, что при площади около 210 тыс. км^2 соответствует среднему слою $67 \pm 10 \text{ м}$.

Доля $V_{\text{пр.}}$, как это явствует из изучения профилей и разрезов, мала, поскольку осадки речного и озерного генезиса (за исключением озерно-ледниковых) не составляют и 2—3% от общего объема четвертичной толщи. Даже из этого количества большая часть осадков образовалась не из принесенного материала из-за пределов рассматриваемой территории, а является продуктами перемыва ледниковых же отложений. $V_{\text{пр.}}$ можно, вероятно, оценить не более чем в $100\text{—}200 \text{ км}^3$.

$V_{\text{вын. реч.}}$ определено по данным Г. В. Лопатина (1952), который подсчитал, что слой смыва реками бассейна Балтики составляет около 0,01 мм в год. Следовательно, можно оценить объем сноса с рассматриваемой территории за четвертичный период величиной от 2000 до 4000 км^3 , или $3000 \pm 1000 \text{ км}^3$. Уточнение этой величины вряд ли можно сейчас произвести, поскольку пока неизвестны ни общая длительность межледниковий, ни колебания интенсивности речного смыва. Однако, поскольку объем ледниковой аккумуляции на порядок больше выноса реками, приближенность определения последнего существенно не отразится на общей точности подсчета баланса.

$V_{\text{вын. лед.}}$ — объем материала, экзарированного на выбранной нами территории и вынесенного ледником южнее, в районы вплоть до крайних пределов продвижения плейстоценовых льдов на западе Украины. Был вычислен объем ледниковых осадков в этих районах и из его состава выделен объем осадочного материала. Получившийся объем осадочных пород, экзарированных ледником, разделен в соответствии с отношением площади зоны преобладающей эрозии в этих, более южных районах, к площади области интенсивной экзарации на территории, занимавшейся Рижским ледниковым потоком. Данный элемент баланса определен наиболее приблизительно. Пока трудно установить точные границы области, куда поступал материал, экзарированный Рижским ледниковым потоком. Неясно точное соотношение материала, экзарированного на месте, и соотношение его с материалом, экзарированным в более южных районах.

$V_{\text{вын. лед.}}$ — объем материала, вынесенного к югу ледником, оценивается приблизительно в 15—20% от V_0 и составляет около $2800 \pm 700 \text{ км}^3$.

$V_{\text{вын. мор.}}$, вероятно, невелико по отношению к общей массе четвертич-

ных отложений. Надо учитывать сравнительно небольшие размеры современной береговой зоны рассматриваемой территории по сравнению со всей площадью последней, малое участие морских осадков в четвертичных отложениях и то, что больше половины общего объема терригенного смыва остается в береговой зоне (Блажчишин, 1972). Пользуясь данными А. И. Блажчишина (1972) о размере современного поступления абразионного материала в Балтику, можно подсчитать, что за голоцен абразией было размыто и удалено из береговой зоны интересующей нас территории не более 5 км^3 породы. Таким образом, «абразионная» составляющая баланса материала — величина сравнительно незначительная.

Принимая соотношение между $V_{\text{кр.}}$ и $V_{\text{осад.}}$ равным 1:3 и подставив приведенные выше значения в уравнение баланса, определяем $V_{\text{осад.}}$ величиной в $14\,900 \pm 3800 \text{ км}^3$ (округленно).

При разрушении коренных пород происходит их разуплотнение. Объемную плотность для осадочных пород данного района можно оценить величиной порядка $2,4 \text{ г/см}^3$, а для четвертичных $2,1 \text{ г/см}^3$. Тогда объем коренных пород, подвергшихся экзарации за четвертичный период на рассматриваемой территории, будет равен примерно $13\,000 \pm 3300 \text{ км}^3$, что отвечает среднему слою в $62 \pm 16 \text{ м}$.

Следовательно, только ледниками за четвертичный период поверхность коренных пород рассматриваемой территории была понижена на $62 \pm 16 \text{ м}$ в среднем. Если учитывать, что наиболее интенсивная экзарация происходила на площади, составляющей около половины рассматриваемой в данной работе территории, то можно предположить, что поверхность коренных пород Рижско-Елгавской низменности и Рижского залива, равно как и некоторых других районов, особо подвергшихся экзарации, понизилась за это время на $80-100 \text{ м}$, в то время как за счет флювиальной денудации это понижение составило бы $10-20 \text{ м}$. Возникновение понижений такого типа, так же как и обособление возвышенностей, в значительной мере связано с деятельностью древних оледенений, поскольку современная амплитуда коренного рельефа между подобными низменностями и возвышенностями имеет тот же порядок, что и величина слоя ледниковой экзарации. Это предположение не исключает того, что само заложение крупных черт рельефа может быть предопределено другими причинами. В то же время для соседних, окружающих низменности возвышенностей, которые лишь временами (в основном в днепровское оледенение) подвергались экзарации, можно оценить величину понижения поверхности коренных пород в $20-40 \text{ м}$. Аккумуляция на возвышенностях выносившихся из низин продуктов экзарации усилила современные высотные контрасты между областями ледниковой экзарации и аккумуляции. Для ледниковых районов Северо-Запада Русской равнины четвертичные оледенения явились значительным, а в ряде случаев и решающим фактором образования не только мелких, но подчас и достаточно крупных форм как рельефа коренных пород, так и отвечающих им форм в современном рельефе.

ЛИТЕРАТУРА

- Асеев А. А. О синхронизации фаз развития последнего оледенения и колебаний климата верхнего плейстоцена. В кн. «Верхний плейстоцен. Стратиграфия и абсолютная геохронология». М., «Наука», 1966.
- Асеев А. А. О геологической деятельности древних европейских ледниковых щитов. «Бюл. Комис. по изуч. четвертич. периода», № 34, 1967.
- Блажчишин А. И. Геологическое строение и донные осадки Балтийского моря. Автореф. канд. дис. Калининград, 1972.
- Гайгасал А. И. Петрографическая характеристика галечной фракции неоплейстоценовых и мезоплейстоценовых морен в среднем течении р. Нямунас. «Науч. сообщ. Ин-та геол. и геогр. АН ЛитССР», т. 10, № 2, 1959.
- Гайгасал А., Вайтекунас С., Климинаускас А., Пракапайте Г. Рельеф дочетвертичных пород и мощность четвертичной толщи Литовской ССР. «Тр. АН ЛитССР, серия Б», т. 3(50), 1967.

Геология антропогена Белоруссии. Минск, «Наука и техника», 1973.

Емельянов Е. М. Советско-шведская морская геологическая экспедиция в Балтийском море. «Океанология», т. 14, вып. 1, 1974.

Коншин Г. И. Петрографический состав галечно-гравийного материала морен Курзема. В кн. «Вопросы четвертичной геологии», вып. 3. Рига, Изд-во АН ЛатвССР, 1964.

Куриш В. М. Петрографический состав гравийных залежей Латвийской ССР. В кн. «Вопросы четвертичной геологии». Изд-во АН ЛатвССР, 1962.

Лопатин Г. В. Наносы рек СССР (образование и перенос). «Зап. Всес. геогр. о-ва», т. 14, новая серия. М., Географгиз, 1952.

Орвику К. К. О литологии морен и геологическом строении друмлинов Эстонии. «Тезисы докладов Всесоюзного междоуниверситетского совещания по изучению четвертичного периода». М., 1957.

Орвику К. К. Литологическое исследование морены последнего оледенения Эстонии коллестивными методами. «Тр. Ин-та геол. АН ЭССР», т. 3, 1958.

Последний ледниковый покров на Северо-Западе Европейской части СССР. М., «Наука», 1969.

Паукас А. В. Формирование плейстоценовых отложений и глицигенных форм рельефа Эстонии. Автореф. докт. дис. Таллин, 1972.

Рухина Е. В. Литология моренных отложений. Л., Изд-во ЛГУ, 1960.

Рухина Е. В. Литология ледниковых отложений. Л., «Недра», 1973.

Серебрянный Л. Р. О зональности ледниковой морфоскульптуры Северной Европы и ее палеогляциологической интерпретации. В сб. «Матер. гляциол. исслед. Хроника. Обсужд.», вып. 21. М., 1973.

Спиридонов А. И. Некоторые особенности древнего ледникового покрова на Русской равнине. «Вестн. Моск. ун-та, сер. геогр.», № 6, 1964.

Спиридонов А. И. Основные черты морфоструктуры и ледниковой морфоскульптуры центра и Северо-Запада Русской равнины. В сб. «Геоморфология центральной части Русской равнины (материалы совещания)». М., 1971.

Спрингис К. Я., Коншин Г. И., Савваитов А. С. Сопоставление морен Летижского разреза по литологическим данным. В кн. «Вопросы четвертичной геологии», вып. 3. Рига, Изд-во АН ЛатвССР, 1964.

Ульст В. Г., Берзинь Л. Э., Абрамов Е. П. Геологическое строение дна в южной части Рижского залива по данным геоакустического зондирования. Вильнюс, «Baltica», № 1, 1963.

Чепулите В. Некоторые данные о дочетвертичном рельефе Литовской ССР. «Тр. АН ЛитССР, серия Б», т. 2. Вильнюс, 1956.

Шумский П. А. Динамическая гляциология. «Итоги науки. Гидрология суши. Гляциология». М., 1969.

Яковлева С. В. Условия распространения молодых оледенений на примере ледниковых потоков Чудского и Ладожского озер. В кн. «Верхний плейстоцен. Стратиграфия и абсолютная геохронология». М., «Наука», 1966.

Яковлева С. В. Некоторые литологические особенности разновозрастных морен. В кн. «Геология четвертичных отложений Северо-Запада Европейской части СССР». Л., «Недра», 1967.

Kovalevskis M. Pamatiežu virsas reljefs un kvartara nogulumu biezumi. «Latvijas PSR geologija». Rīga, 1961.

Институт географии АН СССР

Поступила в редакцию
24.VI.1974

A TRIAL OF A QUANTITATIVE ESTIMATION OF ANCIENT GLACIERS RELIEF-FORMING SIGNIFICANCE AT THE NORTH-WEST OF THE EUROPEAN PART OF THE USSR

A. N. MAKKAVEYEV

Summary

Total volume of Quaternary deposits is calculated for the territory which in its northern part roughly corresponds to the Riga lobe of the Valdai glacier. Material balance of Quaternary deposits and its components are estimated (volumes of glacial eroded rocks, river removal volume etc.). Most important of the components are proved to be connected with ancient glaciers activity. Layer of glacial eroded rocks at the territory averages 62 ± 16 m, the value increasing at large lowlands (prevailing exaration areas) almost to 100 m. At adjacent uplands where intensive accumulation of glacial deposits took place the thickness of glacial eroded layer was 20—40 m. Present-day difference of height between elevations and depressions of bedrock topography is of the same order as the exaration value. Genesis of some large forms of bedrock topography and corresponding forms of surface topography appears to be connected with ancient glaciation activity.