

Ю. ХЕЙНСАЛУ

ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ И РАЗВИТИЯ КАРСТОВОГО УЧАСТКА УХАКУ В СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЭСТОНИИ

Карстовый участок Ухаку расположен на Северо-Эстонском плато недалеко от пос. Люганузе и является самым крупным в Северо-Восточной Эстонии. Участок имеет площадь $0,5 \text{ км}^2$. Расположен он между рекой Пуртсе и ее западным притоком Эрра. Последняя, приближаясь к реке Пуртсе, теряет свою воду в многочисленных карстовых воронках, развитых вдоль русла реки на расстоянии $1\text{--}2 \text{ км}$ от ее устья. Воронки поглощают воду со скоростью более 300 л/сек . Ниже русло р. Эрра является обычно сухим. Кратковременный поток появляется в нем только во время весеннего половодья и после обильных затяжных дождей, когда поноры не могут поглотить всю воду. Речные воды текут по подземным путям в сторону р. Пуртсе и выходят в ее долину в виде многочисленных источников. Расстояние между понорами и карстовыми источниками достигает при этом $0,4\text{--}2,0 \text{ км}$, а различие в высоте уровней вышеназванных рек — $1\text{--}5 \text{ м}$.

Первые сведения о подземной реке и карстовых воронках Ухаку приведены уже в литературе XVIII столетия (Hupel, 1777). Отмечается, что около Люганузе река на протяжении $0,5 \text{ км}$ течет под землей и на полях имеются большие глубокие ямы. Эти «земляные воронки» отмечены даже в географическом атласе Л. Меллина (1798). Во второй половине XIX столетия некоторые исследователи приводят уже краткие данные о размерах понор и воронок карстового участка (Eichwald, 1854; Schmidt, 1858; Шмидт, 1879). Первые описания карстового участка являются краеведческими и относятся к 20-м годам нынешнего столетия (Vilberg, 1921; Erde, 1924). Первая геологическая характеристика карстового участка дана К. Орвику (1929). Им подчеркивается большое значение литологического характера, падения слоев и трещин в развитии карста. По возрасту карст относится к доледниковому времени. Карстовый участок предлагается взять под охрану природы (Orviku, 1940).

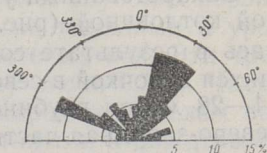
Карст в Ухаку развит в основном в нижней части ухакуского горизонта ($O_2 \text{ цн}$), который отличается здесь от остальных карбонатных пород ордовика своей глинистостью и является относительным водупором в Северо-Восточной Эстонии. Горизонт представлен более или менее глинистыми тонкослоистыми известняками с частыми прослойками мергеля мощностью в $1\text{--}2 \text{ см}$.

Содержание нерастворимого остатка известняков ухакуского горизонта колеблется в пределах $6\text{--}40\%$. В нижней части горизонта содержание его в среднем составляет 10% . Ниже ухакуского горизонта залегают весьма чистые известняки ласнамягиского горизонта ($O_2 \text{ lm}$), глина кровли которых в районе карстового участка около $5\text{--}6 \text{ м}$. Корен-

ные породы покрыты четвертичными отложениями: мореной мощностью до 0,1—0,3 м и залегающими на ней флювиогляциальными песками мощностью в 1—1,5 м.

Карстующаяся толща имеет незначительный уклон (15') в южном направлении. Она разбита частыми тектоническими трещинами, имеющими северо-западное, северо-восточное, субмеридиональное или субширотное простирание; расстояние между ними порядка 0,2—2 м. Трещины почти вертикальные и многие из них пересекают всю видимую мощность карстующейся толщи. Длина трещин, судя по размерам цепей

Рис. 1. Роза-диаграмма тектонической трещиноватости обнажения р. Пуртсе в районе карстовых источников Ухаку.



карстовых воронок, доходит до нескольких десятков, а иногда и до 200—300 м. Наиболее частыми являются трещины северо-западного и северо-восточного простирания (рис. 1). Но в развитии карста и долин видную роль играли только трещины северо-западного и субмеридионального простирания (рис. 2). На это указывают хорошо выраженные прямые участки русла реки северо-западного простирания, частое расположение на участке карстовых воронок и понор, вытянутых в северо-западном направлении, а также цепи воронок этого же направления между рр. Эрра и Пуртсе. Эти трещины образуют в пределах карстового участка четыре локальные зоны, отстоящие друг от друга на 150—200 м и шириной до 300 м (рис. 3). По зонам трещин развиты группы понор и параллельные цепи карстовых воронок. По-видимому, в каждой такой зоне имеются 1—4 основные трещины сравнительно большой протяженности и ряд параллельных и коротких трещин, расположенных кулисообразно.

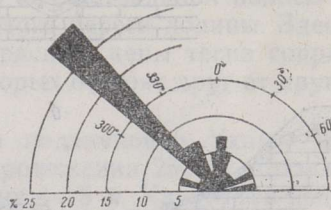


Рис. 2. Роза-диаграмма азимут простирания больших осей карстовых воронок и их цепей на карстовом участке Ухаку.

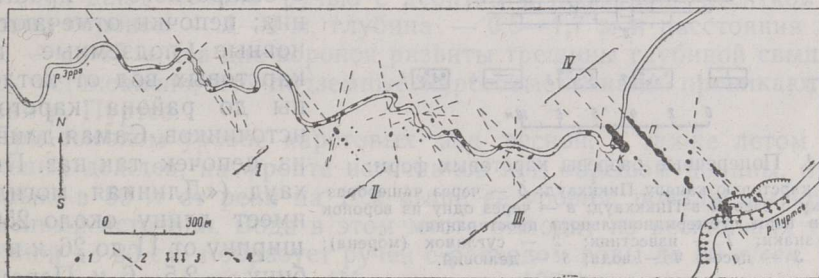


Рис. 3. Схематическая карта карстового участка Ухаку:

1 — карстовые воронки; 2 — тектонические трещины; 3 — фронт источников; 4 — ручьи карстовых родниковых вод; K — карстовая котловина; П — карстовая канава Пиккхауд; I—IV — закарстованные зоны трещин.

Поверхностные карстовые формы на участке Ухаку выражены в виде карстовых воронок и их цепей. Воронки вдоль русла р. Эрра расположены обычно посередине русла, образуя расширения овальной формы. Диаметр большинства воронок доходит здесь до 20—30 м, а глубина —

0,5—2,0 м. Нормальная ширина русла реки около 10 м и глубина — 0,5—1,0 м. Большая ось этих расширений вытянута чаще всего в северо-западном направлении. Небольшие карстовые воронки и поноры встречаются еще на борту русла реки. Их ширина доходит до 4 м и глубина до 1 м. Иногда они имеют связь с руслом реки только через узкий канал длиной в несколько метров. В ряде мест по обе стороны русла реки наблюдаются воронки или поноры продолговатой формы, имеющие обычно северо-западное простирание. Их большие оси часто совпадают, т. е. они развиты вдоль трещин, пересекающих русло реки.

Закарстованный участок р. Эрра заканчивается коррозионно-эрозивной котловиной (рис. 3, К). Далее долина сухая. Котловина образовалась в результате соединения шести карстовых воронок, располагавшихся цепочкой в северо-западном простирании. Длина ее 120 м, ширина 14—28 м при глубине 4,5 м в наиболее глубокой юго-восточной части; северо-западная часть заиlena. На дне трех более глубоких воронок наблюдаются постоянные озерки, уровень воды в которых различен.

Карстовые воронки между долинами рек также приурочены к зонам трещин. Воронки, связанные с зонами трещин I—III, имеют конусообразную форму и развиты только вблизи р. Эрра. Диаметр их достигает 15 м, а глубина — 0,5—2,5 м. Местами эти воронки (вместе с воронками в русле реки) образуют цепочки северо-западного простирания.

IV зона трещин сильно закарстована, особенно в прибортовой части долины р. Пуртсе. По этой зоне воронки образуют три цепочки северо-западного и одну субширотного простирания; цепочки отмечают основные подземные пути карстовых вод от котловины до района карстовых источников. Самая длинная из цепочек так наз. Пиккхауд («Длинная могила») имеет длину около 250 м, ширину от 11 до 26 м и глубину — 2,5—6 м. Перемычки между отдельными во-

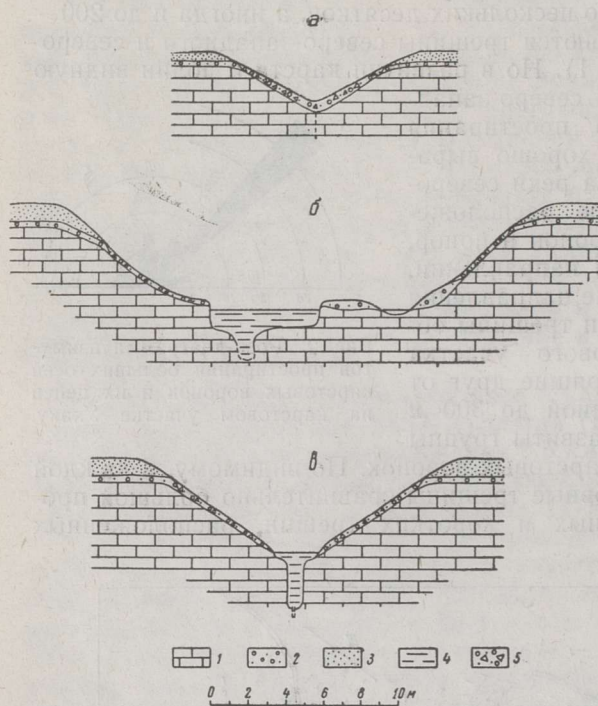


Рис. 4. Поперечные разрезы карстовых форм:

а — через карстовую канаву Пиккхауд; б — через чашеобразную воронку с озером в Пиккхауд; в — через одну из воронок в цепи субмеридионального простирания.

Условные знаки: 1 — известняк; 2 — суглинок (морена); 3 — песок; 4 — вода; 5 — делювий.

ронками в этой цепочке размыты эрозией и суффозионно-карстовыми процессами, что дает ему канавообразный вид. Профиль этой цепочки воронок V-образный (рис. 4, а), за исключением трех наиболее глубоких и широких мест, где воронки чашеобразные, с шириной дна до 10 м (рис. 4, б). Крутизна склонов Пиккхауд — 22—60°. В некоторых воронках в Пиккхауд происходит поглощение воды, которая течет сюда при высоком уровне р. Эрра.

В IV зоне трещин имеется цепь из шести карстовых воронок субширотного простирания. Четыре из них большие, конусовидные (рис. 4, в), имеющие в плане овальную, крестовидную или треугольную форму, вытянуты в основном в северо-западном или субширотном направлении. Из этого следует, что некоторые из них развивались на местах пересечения трещин разного направления. Длина этих воронок достигает 65 м, ширина — 17—30 м и глубина — 4,5—5,5 м при крутизне склонов 22—40°. Дно воронок имеет ширину 1—3 м.

В некоторых карстовых воронках этой цепочки, а также в Пиккхауд находятся озерки глубиной в 0,5—4,0 м. Озерки в более глубоких воронках связаны через трещины подземными карстовыми каналами и уровень воды в них отражает зеркало подземных карстовых вод. Эти трещины имеют местами глубину свыше 2 м и ширину около 0,3 м. Часть маленьких озерков находится в заиленных и закупоренных маслом воронках глубиной в 3—4 м, питающихся весенними талыми и дождевыми водами. Уровень воды в них летом на 1—2 м выше уровня карстовых вод.

В бровке р. Пуртсе в пределах IV зоны трещин имеется группа конусовидных воронок с верхним диаметром 5—10 м, нижним диаметром 0,5—1,0 м и глубиной до 5 м. Ширина сильно закарстованной полосы в бровке доходит здесь до 50 м, начиная от крутого берега долины. Здесь выделяется участок размером 30×30 м, где расположены тесно соприкасающиеся между собой воронки, центры которых отстоят друг от друга всего на 5—10 м.

В IV зоне трещин находятся и источники подземной р. Ухаку. Их фронт идет по левому берегу р. Пуртсе на протяжении 250 м. Долина реки имеет в этом месте относительную глубину 4—5 м. Карстовые воды выходят из многих трещин шириной в 0,5—5,0 см, расположенных на подножии обрывистого склона долины, а также на дне русла реки в виде восходящих родников, хорошо наблюдаемых в период межени, когда глубина воды в реке всего 0,3—0,5 м. Трещин-источников более 10, притом они расположены в 1—20 м друг от друга. Во время низкого уровня воды в р. Пуртсе из некоторых источников вода бьет фонтаном, поднимаясь выше поверхности земли или реки до 10 см.

На фронте имеется 4 карстовых озерка-источника. Они расположены на террасе, в 60 м от русла реки и приблизительно на 1 м выше ее уровня, и дают начало ручью с дебитом в несколько десятков л/сек. Ширина воронок — 4—9 м, глубина — 0,5—1,7 м и расстояния между ними — до 15 м. На дне воронок развиты трещины глубиной свыше 2 м. Здесь установлено, что подземные карстовые каналы проникают ниже уровня р. Пуртсе.

При высоком уровне карстовых вод весной, а также летом после обильных дождей, на фронте источников под обрывом долины, приблизительно в 50 м от реки на 1 м выше ее уровня, появляется крупный временный источник. Вода в этом месте выходит из нескольких трещин шириной до 20 см и образует ручей с расходом воды до 50 л/сек.

По генетическому типу (Максимович, 1953) карстовые воронки в Ухаку являются в основном коррозивно-эрозионными или коррозивно-провальными. Эрозионный процесс сыграл большую роль в развитии воронок и котловины в русле р. Эрра, карстовой канавы Пиккхауд, а также источников воронок. Этому развитию способствовала сильная глинистость известняков. Воронки между долинами образовались в результате мелких провалов карстовых полостей, поверхностного и подземного смыва четвертичных отложений, а также глинистых прослоев карстующихся пород через трещины и поныры в подземные карстовые полости.

Имеющиеся данные по морфологии и геологическому строению не указывают на то, что они образовались в результате крупных провалов. Согласно наблюдениям, проведенным нами в течение последних 20-ти лет, развитие воронок начинается здесь с образования провала шириной и глубиной лишь в 1—2 м. За это время произошло три таких провала.

В дальнейшем стенки провала становятся пологими и конусовидными. Глубина и ширина воронки увеличиваются в основном благодаря коррозийным и суффозионным процессам и мелким провалам в ее центре. Провальный процесс идет при этом постепенно в виде выпадения небольших кусков известняка из кровли карстовой полости и из стенок открытых трещин. Это происходит по мере разрушения и сноса подземным потоком материала, свалившегося в карстовую полость. Исключением, возможно, являются некоторые воронки глубиной в 2—3 м, имеющие широкое плоское дно. Последнее обстоятельство указывает на то, что воронка могла образоваться в результате одного провала.

Данные о подземных формах карста в Ухаку являются весьма скудными. Их исследованию препятствует толстый слой густого масла на склонах воронок и его лужи на дне, оставшегося здесь от сточных вод, спускаемых в р. Эрра уже около 30 лет. Поэтому трещины и большинство понор, которые ведут в подземные каналы, наблюдениям недоступны. До загрязнения воронок такие трещины встречались в некоторых воронках (Erde, 1924), причем через трещины наблюдался подземный канал высотой в 1 м. В настоящее время карстовые полости открываются на поверхности только в двух местах. На юго-восточном конце Пиккхауд имеется вертикальная щелевидная понора шириной в 0,1—0,4 м и высотой 1,5 м. Ее размеры не меняются на видимом участке, т. е. на расстоянии 3—4 м. Щель развита по трещине, вдоль которой образовался Пиккхауд. Такой же характер имеет другой подземный канал, находящийся на бровке долины р. Пуртсе, на фронте источников. Канал находится на глубине около 3 м, имеет ширину до 0,3 м и глубину 1 м. Вода течет в обоих каналах только при высоком уровне карстовых вод.

Кроме вертикальных щелевидных полостей на карстовом участке встречаются и небольшие межпластовые каналы. Например, по сведениям Г. Вильберга, в начале 20-х годов этого столетия в карстовую котловину открывалась полость высотой в 0,25 м и шириной 2 м (Vilberg, 1921), которая была на карстовом участке самой большой. Указывается еще, что в районе источников находился маленький грот шириной до 1 м. Об этом гроте, вероятно, пишет и И. Эрде (Erde, 1924), по данным которого грот имел высоту 1,5 м и мог вместить несколько человек. Грот, по-видимому, находился рядом с вышеназванным крупным временным источником в обрыве. Еще в 40-х годах здесь наблюдалась ниша глубиной около 0,5 м.

Пещеры на карстовом участке Ухаку не обнаружены. По-видимому, из-за галенистости карстующихся пород, густой сети трещин и неглубокого залегания, более крупные карстовые полости здесь сохраниться не могут. Подземные формы карста представлены только в виде узких и невысоких каналов, развитых по тектоническим трещинам северо-западного и субмеридионального простирания или по напластованию. В связи с этим трудно согласиться с некоторыми авторами (Pabst, 1873; Фальковский, 1947 и др.), по мнению которых именно на карстовом участке Ухаку находились пещеры, которые служили населению убежищем во время военного похода новгородцев в 1268 году в Северную Эстонию (Новгородская первая летопись старшего и младшего изводов, 1950). Нам кажется, что эти пещеры надо искать в обрыве глинта на побе-

режье Финского залива, где известны суффозионные пещеры в кембрийских песчаниках.

Начало развития карстового участка Ухаку относится к дочетвертичному периоду, на что обратил внимание К. Орвику (Orviku, 1929). Особенно интенсивное развитие карста началось здесь, как и на всей территории Эстонской карстовой области, после образования систем трещин северо-западного и субмеридионального простирания и соответствующей системы долинной сети как местного базиса карста. Это произошло в плейстоцене.

Базисом доплейстоценового карста была древняя долина Пуртсе, погребенная под четвертичными отложениями. Эта долина расположена на расстоянии около 1 км восточнее карстового участка и имеет относительную глубину более 90 м. На древний, более глубокий базис карста указывает то, что дно карстовых каналов ниже дна современной долины р. Пуртсе.

О характере доплейстоценового карста в Ухаку, а также карста межледниковых периодов имеется пока мало данных. На развитие карста до последнего оледенения указывают закарстованные тектонические трещины в обнажениях известняков по долине р. Пуртсе, заполненные глинистым материалом. Эти, так наз. осадочные жилы имеют мощность 1—5 см. Их материал макроскопически не отличается от материала морены в данном месте.

На древний карст указывает также то, что нижняя часть некоторых больших карстовых воронок находится в бурых, мореноподобных суглинках, имеющих мощность более 1 м. По некоторым данным мощность этих суглинков достигает на местах, не затронутых современным карстом, 5—6 м. Большая мощность суглинков по сравнению со слоем морены около воронок (0,2—0,5 м) и их литологический характер дает основание считать, что они заполняли древние карстовые воронки и отлагались во время последнего оледенения. На месте некоторых погребенных воронок в голоцене образовались новые, притом значительная часть этих суглинков была снесена суффозией и эрозией. Такие воронки являются доледниково-голоценовыми, а некоторые из них, возможно, частично образовались даже в доплейстоценовое время. Современные поверхностные и подземные карстовые формы, развивающиеся на базе древнего карста, начали образовываться в Ухаку после отступления Балтийского ледникового озера. Особенно интенсивно карст развивался здесь в последние тысячелетия, когда долины рек углублялись в коренные породы и увеличивалась разница уровней их впадения. Таким образом, по возрасту на карстовом участке можно выделить доледниковые (погребенные), доледниково-голоценовые и голоценовые воронки (рис. 5), а в развитии участка — доплейстоценовый, плейстоценовый и голоценовый этапы развития.

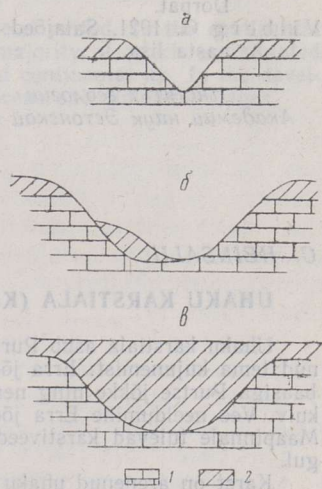


Рис. 5. Возрастные типы карстовых воронок в Ухаку:

а — голоценовый; б — доледниково-голоценовый; в — доледниковый (погребенный).
1 — коренные породы; 2 — гляциальные отложения.

ЛИТЕРАТУРА

- Максимович Г. А. 1953. Генетические типы карстовых образований. ДАН СССР, 90, № 6.
- Новгородская первая летопись старшего и младшего изводов. 1950. Ин-т истории АН СССР.
- Шмидт Ф. Б. 1879. Протокол заседания отделения геологии и минералогии 23 ноября 1878 г. Научное сообщение. Тр. С.-Петербургского об-ва естествоиспытателей, X, С.-Петербург.
- Фальковский Н. И. 1947. История водоснабжения в России. Изд. Мин. коммунальн. хоз-ва.
- Eichwald E. 1854. Die Grauwackenschichten von Liv- und Ehstland. Bull. de la Soc. Imp. des Natural. de Moscou, XXVII, Nr. 1.
- Erde J. 1924. Maa-alune jõgi Uhak Lügänuusel. Virumaa. Rakvere.
- Heinsalu Ü. 1961. Karstinähtuste levik ja omapära Eestis. ENSV TA Geol. Inst. Uurimused, VII.
- Hupel A. W. 1777. Topographische Nachrichten von Lief- und Ehstland. Nachtrag zum ersten Bande.
- Mellin L. 1798. Lief-Estländischer Atlas.
- Orviku K. 1929. Uhaku. Kirde-Eesti karstiaala stratigraafiast ja geomorfoloogiast. Tartu.
- Orviku K. 1940. Uhaku karstiaala looduskaitse alana. Tartu Ulik. Geol.-inst. Toimet., 59.
- Pabst E. 1873. Die Russenschlacht bei Maholm im Jahre 1268, nicht von Plettenberg 1501 geliefert. Beiträge zur Kunde Ehst-, Liv- und Kurlands, 1, Reval.
- Schmidt Fr. 1858. Untersuchungen über die silurische Formation von Ehstland, Nord-Livland und Oesel. Archiv f. d. Naturkunde Liv-, Ehst- und Kurlands, Ser. I, 2, Dorpat.
- Vilberg G. 1921. Salajõed ja maa-alused koopad Eestis. «Sirvilaudade» XXV juubeli-aasta lisa.

Институт геологии
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию
5/1 1970

Ü. HEINSALU

UHAKU KARSTIALA (KIRDE-EESTI) EHITUSE JA ARENGU ISEÄRASUSED

Uhaku karstiaala asub Purtse jõe ja selle lisajõe Erra vahel. See asjaolu ongi mõjutanud tema kujunemist: Erra jõe veed on rajanud maa-aluse äravoolu madalama erosiooni-baasiga Purtse jõkke ning nende säng on karstialast kuni suudmeni suurema osa aastast kuiv. Vee neeldumine Erra jões toimub arvukate 1 km ulatuses esinevate lehtrite kaudu. Maapinnale tulevad karstiveed allikatena Purtse jõe ääres ja põhjas 250 m pikkusel lõigul.

Karst on arenenud uhaku ja lasnamäe lademe lubjakivides (O_2 uh, lm), milledest esimesed on savikad, eriti sagedaste merglivahekihikestega. Karsti kujunemist on soodustanud tihe tektooniliste lõhede võrk, kusjuures kõige suurem on olnud loode-kagusuunaliste lõhesüsteemide tähtsus. Need lõhed moodustavad karstialal neli lokaalset võõndit, milledele vastavalt on kujunenud ka ponooride rühmad ja karstilehtrite ahelad. Esineb ka üks submeridionaalse suunaga lehtrite ahel. Üksikute lehtrite pikiteljed on enamasti loode-kagusuunalised.

Lehtrite pikkus ulatub karstialal 65, laius 30 ja sügavus 6 meetrini. Lehtrite ahela piksus on kuni 250 m. Ristlõikes on lehtrid enamasti koonusjad, harvem liudjad. Valdab korrosiooni-erosiooni- või korrosiooni-sisselangemislehtrite tüüp, kusjuures karstivormide kujunemises on oluline olnud erosiooni osatähtsus.

Maa-alused karstikanalid on kitsad püstlõhed või madalad ja laiad kihtidevahelised õõnsused. Koopaid ei ole.

Uhaku karstiaala esines juba jääajaeelsel ajal. Jääajajärgsel kontinentaalsel perioodil tekkisid siin uued pindmised karstivormid, milledest osa asub mandrijää setete alla mattunud vanade karstilehtrite kohal. Karstiaala arengus võib esile tõsta pleistotseenieelset, pleistotseeni- ja holotseenietappi.

O. HEINSALU

THE STRUCTURE AND PECULIARITIES OF THE UHAKU CARST AREA IN THE NE OF ESTONIA

The Uhaku carst area lies between the river of Purtse and its tributary, the Erra. That circumstance has determined the nature of that area: the waters of the Erra have established their underground drainage into the Purtse, which is of a lower erosional basis, and the river-bed proper of the Erra, from the carst area to the estuary, is dry most part of the year. The absorption of the waters in the Erra is effected through numerous funnels which are situated on a stretch of 1 km. The carst waters come up to the surface of the earth by way of springs at the riverside of the Purtse, and in the bottom of that river, on a stretch of 250 m.

The carst has developed in the limestones of the Uhaku and Lasnamäe stages (O_2 uh, lm), the former of which are clayey, with particularly frequent marl-interlamination. The development of the carst has been favoured by a dense network of tectonic faults, the most significant of which are of a NW-SE orientation. In the carst area those faults form four local zones, according to which the groups of ponors and chains of carst funnels have been formed. There is also a chain of funnels of a submeridional orientation present. The longitudinal axis of some single funnels are oriented from NW to SE.

The length of single funnels in the carst area amounts to 65 m, width to 30 m, and depth to 6 m. The chain of funnels is about 250 m long. In cross-section, the funnels are mostly of a conical shape, and less frequently dish-shaped. The prevailing types are corrosional-erosional or corrosional-collapsing, since an important role in the formation of the carst was enacted by erosion.

The underground carst canals are narrow upright cracks or shallow and wide hollows between strata. There are no carst caves present.

The carst area of Uhaku existed already in the pre-glacial period. In the continental post-glacial period, the surface carst forms developed, the majority of which are situated in the place of old carst funnels, buried under the deposits of continental ice. In the development of the area we may state the pre-Pleistocene, Pleistocene and Holocene stages.

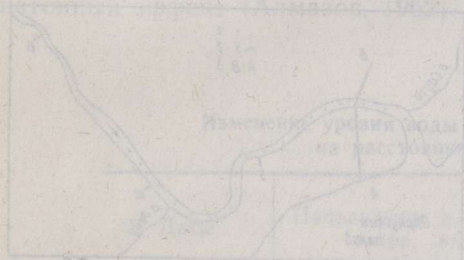


Рис. 1. Схематическая карта карстового участка Ухаку. 1 — карстовый участок; 2 — тектонические faults.