

МЕХАНИЗМ СЛОЖНОГО ТРЕХЯРУСНОГО ОПОЛЗНЯ В БАЛЧИКЕ, БОЛГАРИЯ¹

Член-корр. Болгар. АН проф. Б. КАМЕНОВ^{2*},
профессор, докт. техн. наук Г. И. ТЕР-СТЕПАНЯН³,
канд. геол.-минер. наук И. ИЛИЕВ^{4*},
инженер-геологи Г. СИМЕОНОВА^{4*} и Е. АВРАМОВА-ТАЧЕВА^{4*}

Реферат. На части территории, занятой городом Балчик, развивается крупнейший трехярусный оползень. Первый ярус образуют гигантские блоки мергелей и известковистых глин с горизонтальным расположением слоев, отрывающихся от плато и медленно сползающих к морю по поверхности глин. По мере оползания скорость смещения увеличивается. Второй ярус составляют межблоковые массивы с наклонным расположением слоев, образующиеся в межблоковых пространствах при их заполнении породами, сползающими со склонов блоков. Третий ярус составляют приповерхностные оползни различного типа, развивающиеся в продуктах выветривания на межблоковых массивах. Описывается механизм сложного оползания. Борьба с оползнями первого и второго яруса неосуществима. Дается прогноз оползания и рекомендации по строительству.

Оползневая полоса у города Балчика имеет ширину 400—600 м; у плато склон переходит в крутой откос высотой 40—50 м. Оползни Балчика по своей сложности и грандиозности представляют исключительное природное явление. Они придают своеобразный, незабываемый облик этому древнему городу (рис. 1).

Над линией городских домов господствуют громадные удлиненные гряды—оползневые блоки с сохранившимся почти горизонтальным расположением пластов, хорошо видных благодаря обнаженности почти отвесных склонов этих блоков. Абсолютная высота блоков уменьшается по направлению к морю: наиболее близкий к плато блок Джини-баир имеет высоту 120 м над уровнем моря, расположенный восточнее блок Ак-баир—высоту 105 м, а находящийся ближе к морю крупный блок Сусам-баир—всего 65—70 м. У самого морского берега находится блок Сиври-тепе высотой около 50 м (рис. 2, б).

Пространства между блоками заполнены породами, сползшими со склонов блоков и образовавшими межблоковые массивы. При этом сползании положение пластов изменялось, и в настоящее время эти пласты залегают под различными углами. Межблоковые массивы в нижней своей части в значительной мере сохранили компактное сло-

¹ Результаты совместных научных исследований Болгарской Академии наук и Академии наук Арм. ССР.

² Зав. секцией инженерной геологии и гидрогеологии.

³ Зав. Лабораторией геомеханики Академии наук Арм. ССР.

⁴ Научный сотрудник Секции инженерной геологии и гидрогеологии.

* Геологический Институт Болгарской Академии наук, София.

ожение, а в верхней части подверглись выветриванию. В верхних частях блоков на склонах развиваются неглубокие оползни различного типа.

Городские постройки располагаются на участках межблоковых массивов. Указанные неглубокие оползни вызывают разрушение зданий и деформации сооружений. Всего в городе Балчике за последние десятилетия было разрушено свыше 300 зданий. Особенно активен обратительный оползень в районе улицы Москвы, шириной порядка 0,400 м и длиной около 120 м.

Параллельно с геологическими и геоморфологическими исследованиями Добруджанского побережья частично изучалось строение оползней Балчика, начиная еще с 1928 г. (Lepsi, 1928; Берегов, 1941; Попов, 1953; Каменов и Демирев, 1965; Pašek and Rybář, 1969).

Движение крупных блоков г. Балчика совершается столь медленно, что их долгое время считали неподвижными. Соответственно, не придавалось значения внутренним деформациям межблоковых массивов. Природа и механизм оползней Балчика оставались неясными, и на этот счет делались различные предположения.

Для более полного изучения геологического строения, механизма и динамики Балчикских оползней в 1966—1970 гг. были проведены комплексные исследования, включавшие в себя инженерно-геологическое картирование, бурение 8 глубоких и 15 неглубоких скважин, исследование образцов грунта, режимные геодезические наблюдения и изучение абразии (Демирев и Стоева, 1968; Кунтыш и др., 1969). На рис. 3 показан геологический разрез по линии блоков Джини-баир и Сиври-тепе, построенный в результате этих исследований.

ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ.

Город Балчик расположен в северной части Болгарского побережья Черного моря, у обращенного к югу обширного Добруджанского плато, возвышающегося над уровнем моря на высоту 180—200 м (рис. 2, а). Плато сложено почти горизонтально-залегающими породами сарматского возраста. Сарматские отложения по литологическим признакам разделяются на три толщи.

Нижняя толща представлена твердо-пластичными известковистыми пылеватыми глинами, глинистыми мергелями и тонкозернистыми слабоцементированными песчаниками. Консистенция известковистых глин характеризуется следующими величинами: w_L от 58 до 90, w_p от 41 до 62, I_p от 17 до 28 при естественной влажности от 40 до 48%. Сопротивление одноосному сжатию q_u около 10 кг/см²; имеется прослоек с $q_u = 4—5$ кг/см². Мощность нижней толщи в обнажениях морского берега юго-западнее г. Балчика не превышает 50—60 м.

Средняя толща представлена мергелями, глинистыми мергелями и глинистыми известняками. Нижняя часть толщи содержит многочисленные глинистые прослойки; в верхней части толщи располагаются толстослоистые мергели и глинистые известняки, переслаивающиеся беловатыми известковистыми глинами и песчанистыми глинистыми мергелями. Мощность средней толщи превышает 100 м; она обнажается на всем прибрежном склоне.

Верхняя толща образует поверхность плато; она представлена органогенными кавернозными известняками мощностью до 15—20 м. Вследствие денудации ее мощность уменьшается к бровке плато.

Сарматские слои характеризуются слабым наклоном на северо-восток (на 1—3°). Палеогеновый фундамент разбит на блоки. Дизъюнктивные нарушения фундамента установлены буровыми скважинами и геофизической разведкой (Димитров, 1959). Вертикальные движения

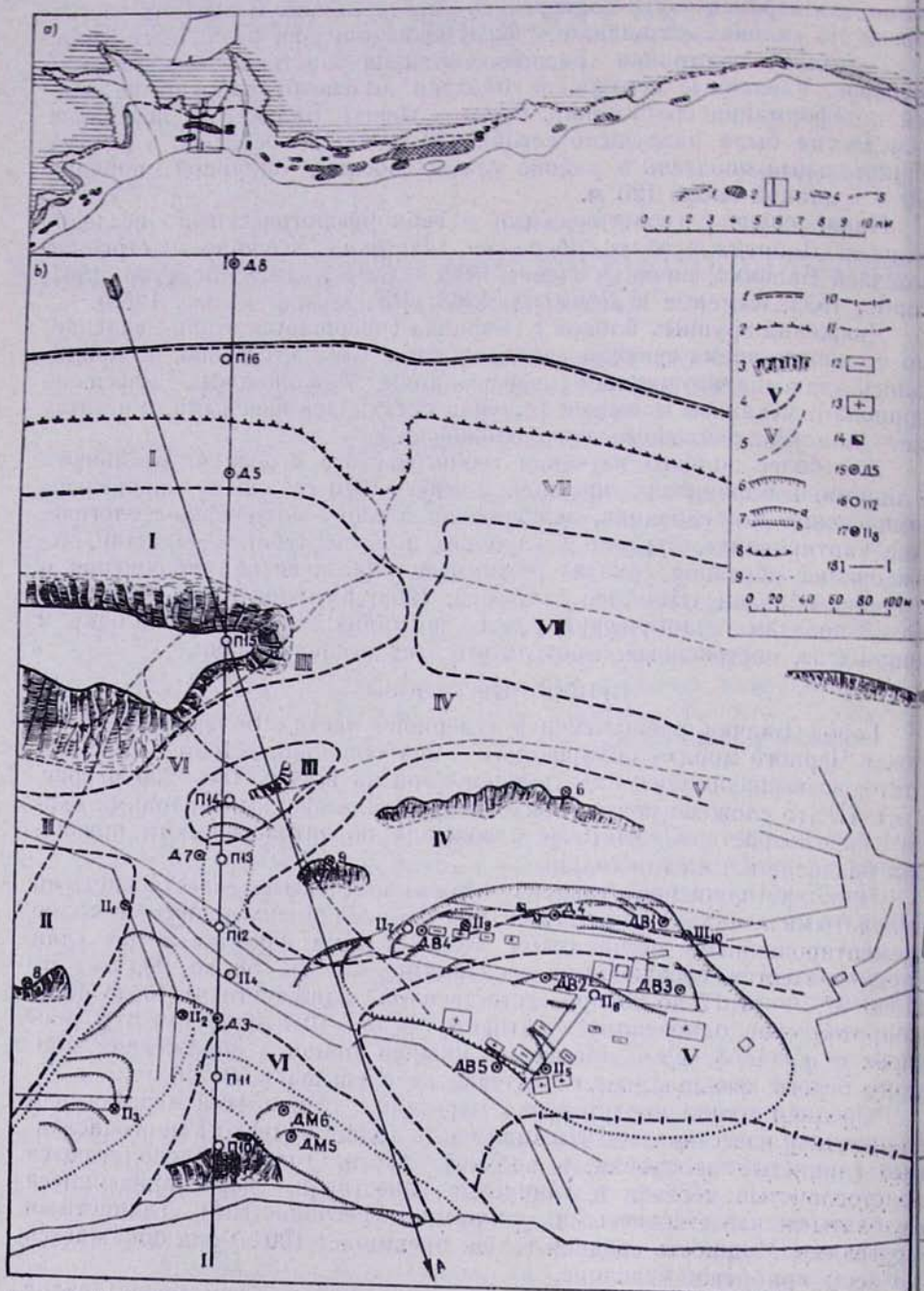


Рис. 2. Балчикская оползневая полоса. а) Схема прибрежной полосы; 1—Добруджанское плато; 2—большие оползневые участки: 3—оползневой участок, показанный на рис. 2, б; 4—останцы чаудинского моря; 5—приблизительное положение береговой линии в чаудинское время. б) Схема оползней города Балчика; 1—бровка плато; 2—подземное подножье плато; 3—обрывистые вершины блоков; 4—современное положение подземного подножья блоков и их номера; 5—первоначальное положение подземного подножья блоков и их номера; 6—главная стенка отрыва оползней; 7—оползневые

этих блоков с различным знаком и интенсивностью отражаются на сарматском покрове. В послеплиоценовое время Добруджанское плато испытывало преимущественно неравномерное поднятие. Наиболее древний чаудинский абразионный уровень прослеживается с перерывами на отметках от 95—100 до 150—160 м (рис. 2, а).

Район характеризуется высокой сейсмической активностью, достигающей до 10 баллов по международной шкале.

В верхней толще сармата формируются карстовые и трещинные воды, часть которых дренируется к береговому склону на отметке кровли средней толщи сармата в виде концентрированных и рассеянных источников. Трещинные воды имеются и в средней литологической толще сармата.

Оползни нарушили первоначальный режим подземных вод склона; в скважинах подземные воды встречаются на различных уровнях. Вблизи морского берега подземные воды встречаются на отметке до +10 м. В направлении к склону подземные воды встречаются на более высоких отметках—от 25 до 65 м. Подземные воды оказывают влияние на устойчивость склона вследствие уменьшения прочности пород, из-

трещины с положительной (а) и отрицательной (b) амплитудой; 8—оползневой язык; 9—граница оползня вне оползневых трещин; 10—современное положение края новочерноморской террасы; 11—предполагаемое положение края новочерноморской террасы при ее образовании; 12—деформированные здания; 13—разрушенные здания; 14—деформационный колодец; 15—глубинный репер и его номер; 16—поверхностный репер и его номер; 17—наблюдательная марка; 18—линия профиля (рис. 3); А—направление движения блоков; М—улица Москвы. Блоки: I—Джини-баир; II—Сусам-баир; III—у Стадиона; IV—Восточный, V—у Консервного завода; VI—Сиври-тепе.

Նկ. 2. Բալչիկի սողանքային գոտի. ա) ծովափի սխեման. 1—Դորբրուճայի բարձրավանդակը. 2—խորը սողանքների վայրը. 3—նկ. 2, b-ում ցույց տված սողանքային վայրը. б) Բալչիկ քաղաքի սողանքները. 1—բարձրավանդակի կտրաբ. 2—բարձրավանդակի ստորերկրյա հիմքը. 3—բլուկների զարկվալը դադաթները. 4—բլուկների ստորերկրյա ժամանակակից հիմքը և դրանց համարները. 5—բլուկների ստորերկրյա սկզբնական հիմքը և դրանց համարները. 6—սողանքների պատման զրկավոր պատը. 7—սողանքային ճեղքվածքները դրական (a) և բացասական (b) ամպլիտուդայով. 8—սողանքների լեզուն. 9—սողանքների սահմանը սողանքային ճեղքվածքներից դուրս. 10—նոր Սևծովյան դարաւափի երկր ժամանակակից դիրքը. 11—նոր Սևծովյան դարաւափի առաջացման ժամանակուժ երկր ենթադրվող դիրքը. 12—ձևափոխված շենքեր. 13—քանդված շենքեր. 14—բաց խորքային սողքի հորը. 15—խորքային սողանքային կետը և դրա համարը. 16—մակերեսային սողանքային կետը և դրա համարը. 17—դիրտման մարկան. 18—I-I պրոֆիլի դիմ (նկ. 3) A—բլուկների տեղաշարժման ուղղությունը. M—Մոսկվայի փողոցը. Բլուկներ՝ I—Ջինի-բաիր. II—Սոսամ-բաիր. III—Ստադիոնի մոտ. IV—Արևելյան. V—Պահածոների գործարանի մոտ. VI—Սիվրի-թեփե:

Fig. 2. Balchik sliding zone, a) Scheme of seastide: 1—Dobrudja plateau; 2—big landslide areas; 3—landslide area shown on Fig. 2, b. b) Scheme of Balchik town landslides. 1—crown of plateau; 2—underground base of plateau; 3—abrupt tops of blocks; 4—recent position of underground base of blocks and their number; 5—original position of underground base of blocks and their number; 6—main scarp of landslides; 7—landslide fissures with a positive (a) and negative (b) amplitude; 8—landslide tongue; 9—landslide boundaries outside of landslide fissures; 10—recent position of edge of the New Black Sea terrace; 11—supposed position of edge of the New Black Sea terrace at its formation; 12—deformed buildings; 13—demolished buildings; 14—open depth creep well; 15—depth bench mark and its number; 16—surface bench mark and its number; 17—observational mark; 18—profile line (Fig. 3); A—direction of block movement; M—Moscow street. Blocks: I—Djini-bahir; II—Soosam-bahir; III—at Stadium; IV—Eastern; V—at Cannery; VI—Sivri-tepe.

менения деформационных свойств и консистенции, усиления процессов выветривания и др.

В плиоцене рассматриваемый прибрежный район был сушей с высотами около 200 м от современного уровня моря. Сарматские отложения подвергались эрозионно-денудационным процессам, но условий для возникновения крупных оползней на побережье не существовало. Чаудинская трансгрессия вызвала изменение физико-географических условий и возникновение небольших четвертичных оползней. К этому времени надводная часть склона не была высокой и большая часть энергии волн расходовалась на переработку его подводной части. Неоднократно наступавшие резкие изменения разности уровней плато и моря в послечаудинское время маркируются останцами более низких абразионных уровней на склоне, которым соответствуют отдельные этапы развития оползней. Об этом свидетельствуют останцы морских террас, расположенных над оползневыми пакетами. Местами эти террасы изменили свое положение в результате продолжающегося процесса оползания. Возникновение новых и активизация старых оползней наблюдается и в современную эпоху при существующем уровне моря.

Образование оползающих блоков на Балчинском побережье и их медленное смещение к береговой полосе в геологическое время создали своеобразную морфологию морского берегового склона, которая оказывала воздействие на гидродинамические процессы. Достигавшие морского берега денудированные блоки подвергались интенсивной абразии. В голоцене на передовых блоках вырабатывались абразионные террасы; такими являются новочерноморские террасы на останцах блоков, на которых расположены консервный завод и новый городской пляж и нимфейская терраса на блоке городского пляжа. От остальной части посленимфейской выравненности в настоящее время сохранились узкие пляжевые полосы.

У самого морского берега на участке между консервным заводом и городским пляжем возвышается блок Сиври-тепе, где сформировался и клиф, подвергающийся интенсивной абразии. Размеры блока быстро уменьшаются; за последние 60—70 лет от большой площадки на его вершине осталось едва несколько квадратных метров, и блок Сиври-тепе принял форму конуса. Между тем, из старой английской морской карты 1854 года масштаба 1 : 39130 видно, что ширина площадки на вершине блока составляла не менее 60 м (Plans, etc. 1854).

Наблюдения по абразионным реперам у клифа блока Сиври-тепе в 1965—1969 годы показали, что перемещение клифовой зоны к морю составляет 0,06—0,35 м в год, ширина абразированной полосы достигает 2 м и объем размытых оползневых и обрушенных масс этого блока 8400 м³. В 1969 г. после интенсивного штормового периода обрушилась значительная часть блока Сиври-тепе, деформировались и разрушились соседние дома с участком береговой подпорной стены.

МЕХАНИЗМ ОПОЛЗНЯ

Под механизмом оползания понимается совокупность промежуточных состояний и условий перехода от одного состояния к другому, определяющие протекание оползневого процесса. В основе исследования механизма оползания лежит изучение кинематики процесса, т. е. движения отдельных элементов, составляющих оползень. Эти исследования базируются на анализе годографов скоростей оползания, оползневых трещин в грунте и деформации сооружений. Теоретические основы этого метода и опыт его применения на оползнях освещены в других публи-

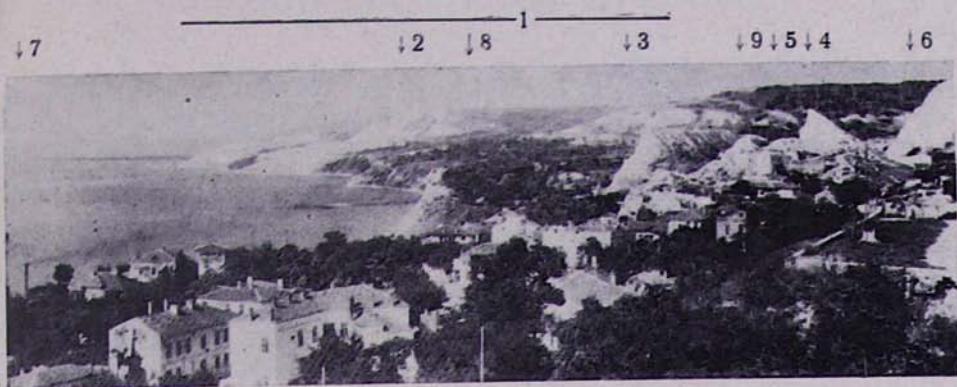


Рис. 1. Общій вид оползневого склона в г. Балчике (фото Я. Пашека, Прага). 1—Момчиловски рид; 2—Сиври-тепе; 3—Сусам-баир; 4—Джини-баир; 5—Стадион; 6—Добруджанское плато; 7—труба Консервного завода; 8—улица Москвы; 9—Ак-баир.

նկ. 1. Բալչիկ քաղաքի սողանքային լանդշեֆտի տեսարան (լուսանկար Յա. Պաշեկի, Պրագա)։ 1—Մոմչիլովսկի ռիդ. 2—Սիվրի-թեփե. 3—Սուսամ-բայիր. 4—Ջինի-բայիր. 5—Ստադիոն. 6—Դոբրուժյան սարահարթ. 7—պահածոների գործարանի ծխնելուղ. 8—Մոսկվայի փողոց. 9—Ակ-բայիր։

Fig. 1. General view of the sliding slope in the town of Balchik (photo by J. Pashkek, Prague). 1—Momchilovski rid; 2—Sivri-tep; 3—Soosam-bahir; 4—Djini-bahir; 5—Stadium; 6—Dobrudja plateau; 7—chimney of the cannery; 8—Moscow street; 9—Ak-bahir.

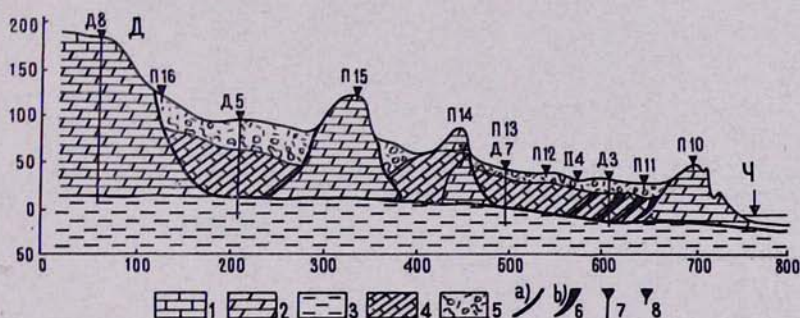


Рис. 3. Поперечный профиль оползней по линии I—I. 1—известняки (верхняя толща сармата); 2—известняки глинистые и известковистые мергели (средняя толща сармата); 3—глины и известковистые глины (нижняя толща сармата); 4—наклонные пласты глинистых и известковистых мергелей (смещенные пакеты); 5—нарушенные выветрелые породы (оползневые массы); 6—проявившиеся поверхности и зоны оползания (a) и потенциальные зоны оползания (b); 7—поверхностный оползневой репер; 8—глубинный оползневой репер.

նկ. 3. Սողանքի I—I գծի երկաթուղային կտրվածքը. 1—կրաքարեր (սարմատյան վերին շերտեր). 2—կավային և կրային մերգելներ (սարմատյան միջին շերտեր). 3—կավային և կրային կավեր (սարմատյան ներքին շերտեր). 4—կավային և կրային մերգելների թևք շերտեր (տեղաշարժված շերտեր). 5—խախտված հողմահալված ապարներ (սողացող զանգվածներ). 6—սողունության մակերևույթներ և գոտիներ՝ (a) իրական և (b) պոտենցիալ. 7—մակերևույթային սողանքային կետեր. 8—խորքային սողանքային կետեր։

Fig. 3. Cross-section of the landslide along line I—I. 1—limestones (Sarmatian upper layers); 2—limestones, clayey and calcareous marls (Sarmatian middle layers); 3—clays and calcareous clays (Sarmatian lower layers); 4—inclined strata of clayey and calcareous marls (displaced layers); 5—disturbed weathered rocks (sliding masses); 6—actual surface and zone of sliding (a) and potential zone of sliding (b); 7—surface bench mark; 8—depth bench mark.

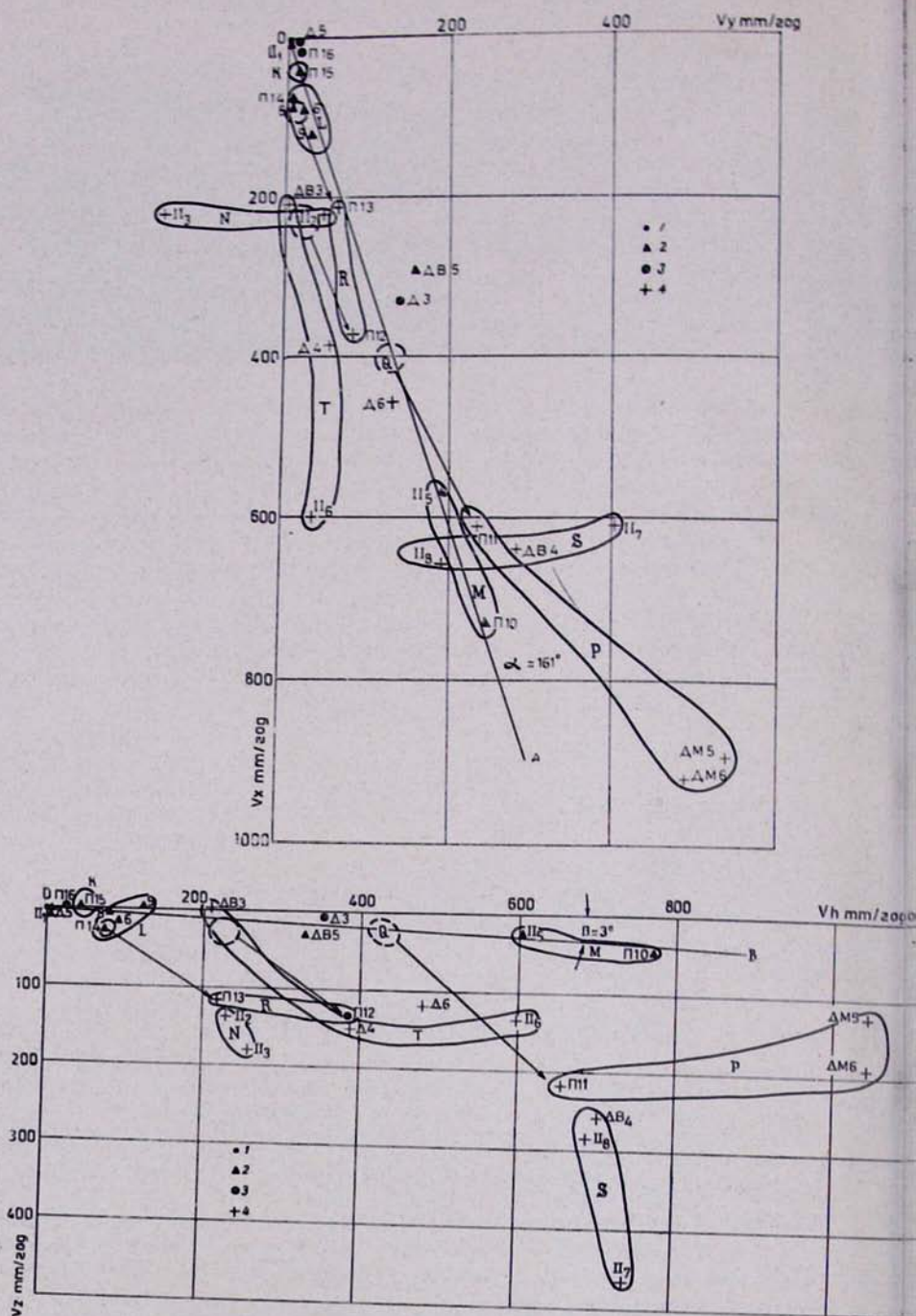


Рис. 5. Годограф вертикальных скоростей смещения реперов в 1968—1969 гг. Обозначения см. рис. 4. Линия В—направление смещения блоков на вертикальной плоскости.
 նկ. 5. 1968—1969 թթ. սողանքային կետերի ուղղաձիգ տեղաշարժի արագության հոդոգրաֆները նշանակությունները տե՛ս նկ. 4. Բ գիծ՝ բլոկների տեղաշարժի ուղղությունը ուղղաձիգ հարթության վրա:

Fig. 5. Hodographs of vertical displacement rates of bench marks in 1968—1969. For designation—see Fig. 4. Line B—direction of block displacement in vertical plane.

Рис. 4. Годограф горизонтальных скоростей смещения реперов в 1968—1969 гг. 1—неподвижная точка на плато; 2—точка на оползающем блоке (I ярус оползания); 3—точка на межблоковом массиве (II ярус оползания); 4—точка на приповерхностном оползне (III ярус оползания). Сплошными линиями очерчены различные области оползания, показанные на рис. 2. Линия А—направление смещения блоков на горизонтальной плоскости.

նկ. 4. 1968—1969 թթ. սողանեցային կետերի հորիզոնական տեղաշարժի արագության հոդոգրաֆներ. 1—անշարժ սողանքային կետ բարձրավանդակի վրա. 2—կետ սողացող բլուկների վրա (սողունության I հարկ). 3—կետ միջբլուկային զանգվածի վրա (սողունության II հարկ). 4—կետ ենթամակերևույթային սողանքների վրա (սողունության III հարկ); Հոծ գծերով ուղղագծված են նկ. 2-ի վրա ցույց արված սողունության տարբեր վայրերը. А գծը՝ բլուկների տեղաշարժի ուղղությունն է հորիզոնական հարթության վրա:

Fig. 4. Hodographs of horizontal displacement rates of bench marks in 1968—1969; 1—unmovable bench mark on plateau; 2—bench mark on a creeping away block (I story of sliding); 3—bench mark on an inter-block massif (II story of sliding); 4—bench mark on a subsurface landslide (III story of sliding). Different areas of sliding shown on Fig. 2 are outlined by thick line. Line A—direction of block displacement in horizontal plane.

кациях (Тер-Степанян, 1969; Тер-Степанян и др., 1970, 1971) и здесь не приводятся.

Наблюдения за смещениями оползневых точек

Для изучения смещения точек на оползневом склоне в Балчике, начиная с 1966 года была установлена наблюдательная сеть, которая в дальнейшем была сгущена.

Измерения производились по реперам двух типов: поверхностные и глубинные. Поверхностный репер представляет собой отрезок асбоцементной трубы диаметром 18 см и длиной 3 м, зарытый в землю заподлицо с поверхностью; сверху устроена бетонная головная часть диаметром 40 см и высотой 60 см; ее верхняя кромка защищена коротким отрезком асбоцементной трубы диаметром 40 см. На поверхности бетона сделана полусферическая головка с нанесенным на ней крестом. При измерении над крестом устанавливается визир. Глубинный репер отличается от поверхностного тем, что по оси репера пробурена буровая скважина. Она обсажена отрезками асбоцементных труб, соединенных гибкими пластмассовыми рукавами. Трубы пропилены с двух сторон почти на полное сечение (оставлена соединительная часть шириной 5 см). Пропилы сделаны на расстоянии 30 см друг от друга. Трубы служат для установления положения поверхности скольжения путем промеров верхней недеформированной части. Особенностью этой конструкции является возможность выпирания репера при общей осадке грунта вокруг него. Подобное явление наблюдается на репере Д4, расположенном в головной части вращательного оползня; в настоящее время этот репер возвышается на один метр над уровнем окружающего грунта.

Измерения смещений реперов в плане определялись методом триангуляции, со сторонами треугольников порядка 100—300 м. Вертикальные смещения определялись методом тригонометрического нивелирования.

Всего было проведено 5 циклов наблюдений в 1966, 1967, 1968, 1969 и 1970 годах и по результатам измерений определены приращения координат Δx , Δy и Δz для каждого интервала времени между циклами наблюдений. Так как все геодезические измерения производились практически в одно и то же время года (август), то величина приращений координат может рассматриваться, как составляющая годичной скорости смещения v_x , v_y и v_z . Таким образом, анализ оползания может базироваться на результатах измерений за 4 интервала времени. Однако в первом интервале (1966—1967) сеть не была еще полностью

установлена и отсутствуют данные о нескольких важных пунктах; в последнем интервале (1969—1970) не наблюдался ряд точек, уничтоженных оползнями. Наиболее полные данные относятся к интервалу времени между 1968—1969 годами. Этот интервал был принят в качестве основного при анализе оползания.

Анализ оползания

Для обработки результатов подсчета величины компонент скорости оползания строятся два графика. Первый график (рис. 4) изображает горизонтальную плоскость. Откладывая по осям координат величины компонент v_x и v_y , получаем точку, которая представляет собой конец горизонтальной проекции v_h вектора скорости оползания; начало этого вектора находится в начале координат. На следующем графике (рис. 5) по оси абсцисс откладываются величины горизонтальной проекции вектора v_h , а по оси ординат—скорость осадки v_z репера. Полученная точка представляет собой конец полного вектора оползания; начало же его также находится в начале координат.

Полученные таким образом графики (рис. 4 и 5) наглядно показывают характер оползания склона в интервале времени между августом 1968 и августом 1969 гг. Для удобства анализа для различных групп реперов приняты разные условные знаки. Вблизи от начала координат находится пункт П16. Репер П16 расположен у подножья плато; на графиках он показан точкой.

Блоки. На вертикальной плоскости годографов отчетливо выделяется группа точек, обозначенных черными треугольниками. Эта группа точек расположена на одной линии В, образующей небольшой угол наклона с горизонтом. Сюда относятся точки, расположенные на блоках с нормальным положением пластов: П15 на блоке Джини-баир, П14 на блоке у Городского стадиона, 6 и 9 на Восточном блоке, 8 на блоке Сусам-баир и П10 на блоке Сиври-тепе.

Вблизи от линии В находятся еще две точки (ДВ5 и П₂), что позволяет отнести их к тому же классу. Эти точки расположены у языка вращательного оползня, развивающегося между Восточным блоком и останцом террасы, на которой расположен консервный завод. Бурение репера ДВ5 показало, что здесь в основании залегают породы с нормальным расположением пластов, т. е. терраса образовалась на абрадированном блоке. Реперы П₂ и ДВ5 испытывают влияние вращательного оползня, которое главным образом сказалось на увеличении горизонтальной составляющей скорости смещения. Поэтому истинная скорость смещения блока у консервного завода должна быть существенно меньше измеренной, вероятно около 160 мм/год.

Небольшой блок у Городского стадиона характеризуется репером П14. К востоку от него расположен крупный Восточный блок, смещение которого устанавливается по реперам 6 и 9.

На горизонтальной плоскости годографов (рис. 4) все точки, отвечающие блокам (черные треугольники) расположены в одной узкой полосе А, имеющей азимут 161°. На геологическом профиле 1—1 (рис. 3) основания блоков по линии разреза установлены геологическим методом. Приняв, что уширяющиеся подземные части блоков имеют во всех случаях тот же уклон, что и на профиле 1—1, были определены подземные контуры блоков. Эти контуры показаны жирным пунктиром на плане оползней (рис. 2,б); тонкий пунктир показывает первоначальное положение блоков. Направление смещения блоков показано стрелкой А; оно отвечает линии А на рис. 4.

На этом плане ясно вырисовывается характер движения блоков. Они сползают по своему основанию, образуя межблоковые простран-

ва. Величина смещения каждого блока может быть определена достаточно точно. Результаты измерений приведены в табл. 1. В ней приведены также результаты измерения скорости смещения реперов по всем четырем интервалам, и вычислены средние скорости смещения блоков.

На рис. 6а показана зависимость между средней скоростью смещения блоков и пройденным расстоянием (кривая А). Точки на графике лежат вполне упорядоченно, что говорит о существовании явной закономерности: чем больше пройденное расстояние, тем больше скорость смещения блоков. Такое ускоряющее разбегание блоков от плато является общей характеристикой этого вида оползания.

Межблоковые массивы. Следствием разбегания блоков от плато с увеличивающейся скоростью является прогрессирующее расширение межблоковых пространств, вызывающее сползание масс со склонов и формирование межблоковых массивов.

Таблица Աղյուսակ Table 1

Величина, скорость и время от начала смещения блоков

Բլոկերի տեղաշարժման մեծությունը, արագությունը և ժամանակը տեղաշարժի սկզբից

Amount, rate and time from the beginning of the displacement of blocks

Блок	Բլոկ	Block	s	Րեպեր Bench mark	Скорость, мм/год Արագությունը, մմ/տարի Rate, mm/year					t	T
					1966—1967	1967—1968	1968—1969	1969—1970	средняя ճիշդ average		
Джини-баир	Ջինի-բայիր	Djini-bahir	54	П 15	—	13	35	13	22	2400	9250
Сусам-баир	Սոսամ-բայիր	Soosam-bahir	95	8	82	19	81	47	57	3600	10450
У стадиона	Ստադիոնի մոտ	At Stadium	100	П 14	88	28	73	53	61	3690	10540
Восточный	Արևելյան	Eastern	135	6 19	55 120	55 57	89 124	213 209	114	4120	10970
У консервного завода	Պահածոների գործարանի մոտ	At Cannery	162	ДВ5 П5	— —	134 102	330 605	— —	292 (160)	4320	11170
Межблоковый массив	Միջբլոկային զանգվածը	Inter-block massif	212	Д3	238	185	355	391	294	4560	11410
Сиври-тепе	Տիրի-թեփե	Sivri-tepe	244	П10	487	399	772	798	611	4650	11500

s—общее смещение в метрах; t—время от начала второго интервала в годах; T—время от начала смещения в годах.

s—ընդհանուր տեղաշարժ մեծությունը, t—ժամանակը երկրորդ ինտերվալի սկզբից տարիններով, T—ժամանակը տեղաշարժի սկզբից տարիններով:

s—total displacement, metres; t—time from the beginning of the second interval, years; T—time from the beginning of the displacement, years.

Движение межблоковых массивов в чистом виде регистрируется двумя глубинными реперами—Д5 в верхней части склона и Д3 в нижней. Однако, скорость смещения репера Д5 находится в пределах точности измерения. Остальные реперы, размещенные на межблоковых массивах испытывают дополнительное влияние приповерхностных оползней. Только после разложения сложных смещений на составляющие, относящиеся к различным ярусам оползания оказалось возможным проанализировать механизм их оползания.

Лучше всего изучен крупный Центральный межблоковый массив, расположенный между блоками Сусам-баир, Стадиона, Восточным Консервного завода и Сиври-тепе. Здесь на створе, образованном реперами П14 и П10 расположены реперы П13, П12, Д3 и П11. На движении реперов П13 и П12 отражается движение небольшого приповерхностного оползня (рис. 2,б). Репер П11 расположен в головной части вращательного оползня. Разлагая сложное движение этих реперов на составляющие (рис. 4 и 5), можно получить величину вероятной скорости смещения Центрального межблокового массива в его различных пунктах. Эти данные приведены в табл. 2.

На рис. 5,б по оси абсцисс показан створ между реперами П14 и П10, а по оси ординат—скорости смещения точек межблокового массива в интервале 1968—1969 г. На графике В обозначает участки блоков М—участок массива. В левой части графика видно, что скорость смещения массива (репер П13) определяется скоростью движения блока (репер П14). Блок производит давление на межблоковый массив, и в контакте в напряженной зоне развивается небольшой плоскостной оползень. В межблоковом массиве увеличение скорости смещения происходит по отчетливо выраженному линейному закону (реперы П12, Д3 и П11). Это показывает равномерное расширение межблокового пространства. Указанная закономерность нарушается у примыкания к блоку Сиври-тепе. Последний смещается быстрее, чем примыкающий к нему межблоковый массив. В результате вдоль контакта между блоком Сиври-тепе и межблоковым массивом возникает разрежение, вызывающее развитие вращательного оползня (реперы П11, ДМ5 и ДМ6).

Кривые на рис. 5,а и 5,б не являются аналогичными, так как в первом случае по оси абсцисс отложены расстояния, пройденные блоками в процессе оползания в геологическое время, а во втором—современные расстояния точек от блока Стадиона.

Движение реперов межблокового массива улицы Москвы существенно осложнено крупным вращательным оползнем.

Таблица Աղյուսակ Table 2

Скорость смещения реперов Центрального межблокового массива в 1968—1969
1968—1969 թ. Հենարանային միջբլոկային զանգվածի ուղղված շարժման արագությունը
Displacement rate of bench marks on Central inter-block massif in 1968—1969

Репер Բեկեր Bench mark	Расстояние от репера П14, м Հենարանային Բեկերից, մ Distance from bench mark П14, m	Скорость смещения, мм/год Տեղաշարժի արագություն, մմ/տարի Displacement rate, mm/year	
		полная ընդ total	собственно массива ի նրա զանգվածը massif itself
П14	0	80	80
П13	43	250	80
П12	92	405	225
Д3	158	355	355
П11	198	685	425
П10	248	770	770

Приповерхностные оползни. В приповерхностной зоне, в продуктах выветривания межблоковых массивов развивается несколько небольших оползней в западной части участка и один более крупный оползень—в восточной.

В западной части участка развивается упомянутый выше оползень у реперов П13 и П12, направленный к югу. Он отличается равномерной скоростью оползания.

Второй оползень западной части участка находится в нижней части склона. Он направлен к юго-востоку и характеризуется реперами П11, ДМ6 и ДМ5. Это вращательный оползень отступательного типа; в нижней его части развиваются открытые трещины. В настоящее время происходит разрушение берегоукрепительной стенки, расположенной у его нижнего конца (область *P* на рис. 4 и 5).

Третий небольшой оползень развивается у южного склона блока Сусам-баир. Он характеризуется рядом оползневых трещин. На этом оползне расположены реперы П₂ и П₃.

Крупный вращательный оползень развивается в восточной части участка, в районе улицы Москвы. Здесь наблюдаются многочисленные концентрические опущенные трещины, иногда с отрицательной амплитудой. Большая часть зданий на участке разрушена, остальные несут следы оползневых деформаций. Оползень наступательного типа, очаг оползания расположен в районе реперов ДВ4, П7 и П8. Оползневые смещения определяются на основании большого количества реперов. Правая часть этого оползня смещается быстрее, чем левая (области *S* и *T* на рис. 4 и 5).

Характеристика механизма оползней

Оползни города Балчика представляют собой весьма своеобразный вид денудации берегового склона плато. Жесткие породы плато, лежащие на некомпетентных породах нижней толщи сармата, под действием вертикальных движений различной интенсивности, находятся в сложном напряженном состоянии. Катастрофические землетрясения, из которых в историческое время некоторые достигали 10 баллов, а в последний период геологического развития—возможно и более высокой интенсивности, вызывают раскалывание жестких покровных толщ. Это раскалывание происходит преимущественно параллельно карнизу плато, т. е. в направлении наибольшей концентрации касательных напряжений. Таким образом дается начало нарушению непрерывности массива. Отколовшиеся удлиненные блоки начинают передвигаться по направлению к морю. Скорость в начале процессе ничтожна и ее трудно обнаружить с помощью обычных измерений. Одним из следствий начинающегося смещения блоков является нарушение естественной структуры пород. Бурение репера Д8, произведенное на плато неподалеку от его карниза (рис. 2) обнаружило на глубине 125 и 153 м наличие пород, в которых, судя по лабораторным данным, происходит глубинная ползучесть. Она проявляется как пластично-вязкое течение материала, в котором вследствие сползания значения реологических характеристик снижены: порог ползучести от 1,8 до 0,3 кг/см² и динамическая вязкость от $3,3 \times 10^7$ до $2,6 \times 10^6$ кг/см².

По мере развития процесса сползания жестких блоков мергелей и известняков по глинистому основанию, происходит отделение блоков от коренного массива, вначале в виде разделяющих их рвов, а затем, и более глубоких ложбин. В образующееся между блоками пространство с прилегающих склонов медленно сползают массы пород, изменяя при этом движение ориентацию слоев. Как движение блоков, так и формирование межблоковых массивов происходит в фазе глубинной ползучести, т. е. напряжения никогда не достигают величины, отвечающей полной мобилизации сопротивления сдвигу.

Скорость смещения блоков постепенно возрастает; однако она из-

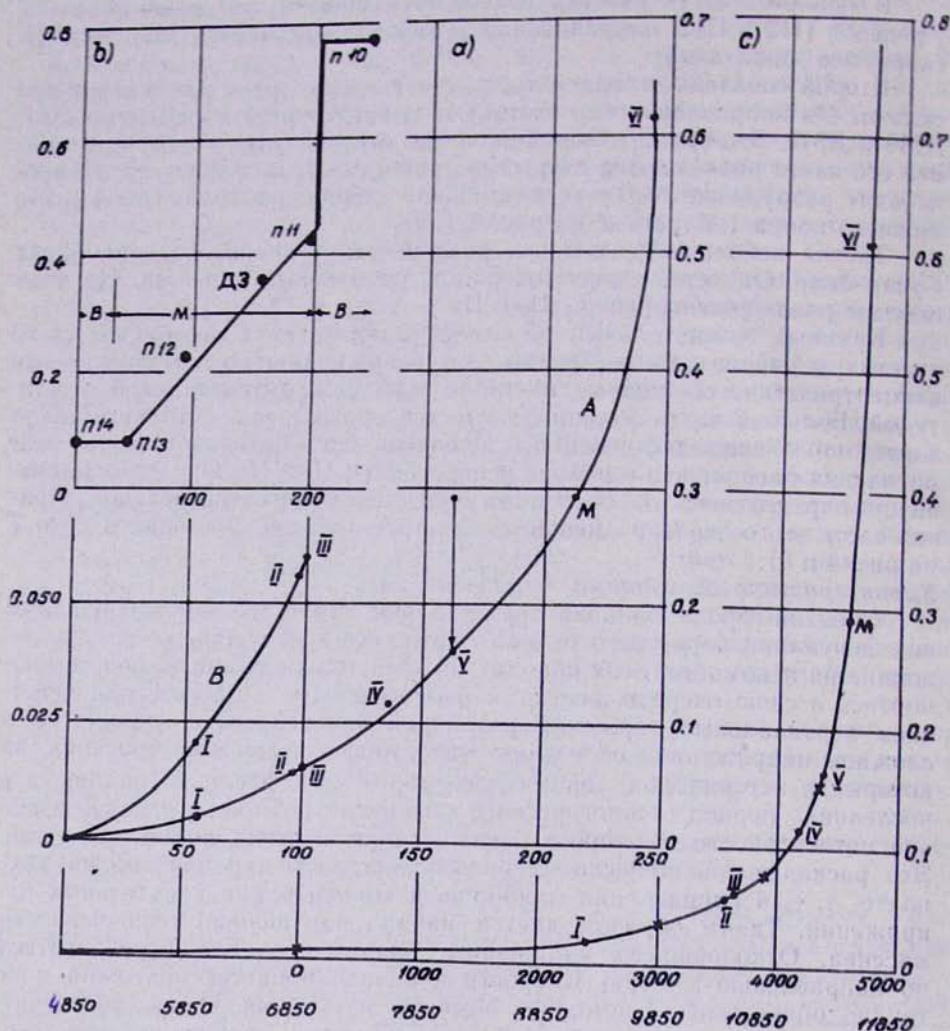


Рис. 6. а) Зависимость между величиной пройденного расстояния и средней скоростью смещения блоков за 1966—1970 годы. Обозначения блоков см. рис. 2, б; М—Центральный межблоковый массив. Абсциссы—пройденное расстояние в метрах, ординаты—средняя скорость смещения в метрах в год (слева—для начального участка, справа—для всей кривой). б) Зависимость между расстоянием репера на Центральном межблоковом массиве от репера П14 и скоростью смещения в интервале 1968—1969 гг. В—блоки; М—массив. Абсциссы—расстояние в метрах, ординаты слева—скорость в метрах в год. в) Зависимость между временем и скоростью смещения блоков в 1966—1970 гг. Обозначения блоков—см. рис. 2, б; М—межблоковый массив. Абсциссы в верхней строке—время в годах от начала второго интервала, в нижней строке—тоже от начала расположения блоков; ординаты справа—скорость смещения в метрах в год.

Նկ. 6. а) Անցած տարածության և 1966—1970 թթ. բլոկների տեղաշարժի միջին արագության հարաբերակցությունը. Բլոկների նշանավորումները՝ տե՛ս նկ. 2, б; Արգիսների՝ անցած տարածությունը մետրով. օրգինատները՝ տեղաշարժի միջին արագությունը մետրով տարում (ձախից՝ սկզբնական մասի համար, աջից՝ ամբողջ կորագծի համար); б) Կենտրոնական միջբլոկային զանգվածի ռեպերների հեռավորությունը П14 ռեպերից և 1968—1969 թթ. տեղաշարժի արագության միջև հարաբերությունը. В—բլոկներ, М—զանգվածը. արգիսները—հեռավորությունը մետրով, օրգինատները՝ ձախից—արագությունը մետրով, տարում; в) Ժամանակի և

мещается малыми величинами (рис. 6). Так, при прохождении пути порядка 30 м скорость составляет около 10 мм в год, при прохождении пути 100 м—60 мм в год; пути 170 м—200 мм в год и при прохождении пути 240 м—600 мм в год. Эти цифры наглядно показывают увеличение скорости при движении блоков.

Блоки представляют собой первый ярус оползания; они перемещаются жестко, не деформируясь. Наклон векторов их смещения по отношению к горизонту определяется наклоном поверхности скольжения; он составляет около 3° (линия В, рис. 5).

На всем исследованном склоне легко различаются три ряда блоков, обладающих различной активностью. Наименее активным является западный ряд, в который входит блок Сусам-баир. Его наибольшее смещение от коренного плато небольшое (вероятно около 95 м); у его подножья сохранились новочерноморская и нимфейская террасы: на них расположен городской пляж. Более активным является восточный ряд блоков; к ним относятся блоки у Городского стадиона, Восточный и у Консервного завода. Наибольшее смещение в этом ряду достигло 162 м; самый нижний блок этого ряда был абрадирован при формировании новочерноморской террасы; нимфейская терраса здесь не сохранилась. Наиболее активным является средний ряд. К нему относятся блоки Джини-баир и Сиври-тепе. Наибольшее смещение блока Сиври-тепе достигает 244 м, обе террасы у подножья полностью уничтожены вследствие абразии и в настоящее время происходит усиленное разрушение самого блока.

Межблоковые массивы представляют собой второй ярус оползания. Они перемещаются частично по общей поверхности скольжения по глинам нижней толщи, а частично—по подземным продолжениям склонов основных блоков.

Скорость перемещения межблоковых массивов определяется скоростью перемещения соседних блоков; в вертикальном направлении межблоковые массивы испытывают компенсационную осадку, средняя величина u_z которой определяется из выражения $u_z = (v_1 - v_2)h/l$, где v_1 и v_2 скорости смещения соседних блоков, h —высота межблокового массива и l его ширина.

На выветрелой поверхности межблоковых массивов развиваются приповерхностные оползни различного типа, в зависимости от геологических, гидрогеологических и геометрических условий. Здесь были

ըլկների 1966—1970 թթ. տեղաշարժի միջին արագության հաշվարկությունը: նշանակումներ՝ տես. նկ. 2, б. Արցիսների վերևի տողում՝ ժամանակը երկրորդ ինտերվալի սկզբից տարիներով, ներքևի տողում՝ նույնը ըլկների տարածության սկզբից, օրգինատներ՝ տեղաշարժման արագությունը մետրերով տարում:

Fig. 6. a) Relationship between the passed distance and average displacement rate of blocks in 1966—1970. For designation of blocks—see Fig. 2, b; M—inter-block massif. Abscissas—passed distance in meters, ordinates—average rate of displacement in meters per annum (on the left for the initial part, on the right—for the whole curve). b) Relationship between the distance of bench marks on the Central inter-block massif from the bench mark П14 and the rate of displacement in interval 1968—1969. B—blocks; M—massif. Abscissas—distance in metres, ordinates on the left—rate in metres per annum. c) Relationship between time and displacement rate of blocks in 1966—1970. For designation of blocks—see Fig. 2, b. M—Central inter-block massif. Abscissas in the first line—time in years from the beginning of second interval, in the second line—that from the beginning of creeping away of blocks; ordinates on the right—displacement rate in metres per annum.

встречены вращательные и плоскостные оползни с различным расположением оползневого очага. Эти оползни располагаются над межблочными массивами, преимущественно на участках контакта этих массивов с блоками. Они стимулируются движением более глубоких зон и обладают неравномерной скоростью смещения. В активные периоды они находятся в фазе среза, т. е. в них полностью мобилизуется сопротивление сдвигу, в более спокойные периоды они находятся в фазе глубоинной ползучести. Нельзя однако их рассматривать как обычные оползни, находящиеся на вполне устойчивом фундаменте. Вследствие неравномерного смещения их фундамента, эти оползни более чувствительны к изменениям природной обстановки и труднее достигают стабилизации. Приповерхностные оползни образуют третий ярус оползней.

Описанный выше своеобразный механизм оползней Балчика является единственным в своем роде. Расползание блоков в значительно меньших масштабах наблюдается во многих местах. С. Шарп описывает несколько случаев медленного смещения жестких блоков по поверхности глин в штатах Нью-Йорк и Виргиния (Sharpe, 1938). В Либирите в Хосте, у Сочи блоки верхнемеловых известняков шириной 6—8 м расползаются по поверхности напластования, падающей под углом 10° . Как и в Балчике, скорость расползания увеличивается по мере движения; поэтому ширина проходов между блоками в верхней части склона составляет 3—5 см и достигает 12 м в нижней части (Тер-Степанян, 1967).

Определение времени оползания

Связь между средней скоростью смещения и пройденным расстоянием (рис. 6,а, кривая А) позволяет определить время оползания блоков. Однако решение задачи по уравнению

$$T = \int_0^{s_0} \frac{ds}{f(s)}, \quad (1)$$

где $v = f(s)$ и s_0 — пройденное расстояние, некорректно, поскольку при $s = 0$, $v = 0$, откуда $T = \infty$. Наибольшую величину пройденного блоками расстояния 244 м разбиваем на два интервала: 0—24 м и 24—244 м. Второй интервал разделяем на 10 участков по $\Delta s = 22$ м, определяем ординаты $v = f(s)$ для границ каждого участка, вычисляем ординаты перевернутой функции $F(s) = 1/f(s)$ и пользуясь формулой графического интегрирования Симпсона, находим время смещения блоков во втором интервале $t = (\Delta/3) \sum k F(s)$, где k — множитель. Результат расчёта показан на рис. 6,с, участок АВ. Таким образом блок Сиври-тепе, сместившийся к настоящему времени на 244 м и обладающий скоростью 0,614 м/год, 4650 лет тому назад прошел расстояние $s_1 = 24$ м и двигался со скоростью $v_1 = 0,007$ м/год. Исходя из предположения прямолинейности начального отрезка кривой АВ, принимаем, что в первом интервале смещение было также равномерно-ускоренным, находим длительность его из соотношения $t_1 = 2s_1/v_1 = 2 \cdot 24/0,007 = 6850$ лет. Тогда время начала сползания каждого блока составляет $T = 6850 + t_1$, где t_1 — абсцисса точки на кривой зависимости между временем и скоростью оползания во втором интервале, соответствующая наблюдаемой скорости смещения (рис. 6,с). Так, для блока у

Стадиона имеем $v = 0,061$ м/год, откуда по графику $t = 3690$ лет, и время начала сползания $T = 6850 + 3690 = 10540$ лет. Подсчитанные таким образом величины вписаны в последний столбец таблицы 1.

Из таблицы можно заключить, что имелся некоторый период времени, отстоящий от нашего времени на 8—11 тысяч лет назад, когда произошел отрыв блоков, и что в дальнейшем блоки не отрывались. Однако такой вывод ошибочен. Величина ускорения блоков в первом интервале составляет $a = v_1/t_1 = 0,007/6850 = 1 \cdot 10^{-6}$ м/год². Отсюда блок, оторвавшийся в начале нашей эры, должен иметь в настоящее время скорость $v = at = 1 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^3 = 2 \cdot 10^{-3}$ м/год и пройти за это время расстояние $s = at^2/2 = 1 \cdot 10^{-6} \cdot 4 \cdot 10^6/2 = 2$ м.

Вследствие глубинной ползучести пород со склонов, такое смещение блоков маскируется компенсационным оседанием и может быть обнаружено в рельефе лишь в виде неглубоких рвов.

Скорость смещения, равная 2 мм/год находится в пределах точности геодезических измерений. Остается еще один индикатор—падение сопротивления сдвигу пород в результате нарушения структуры; как указывалось, такие породы были обнаружены на плато на глубинах 125 и 153 м.

Отсюда следует, что вероятно отрыв блоков продолжается, но что блоки оторвавшиеся в течение последних тысячелетий просто не обнаруживаются в виду небольшого пройденного расстояния, и мы имеем возможность изучить лишь те блоки, которые оторвались несколько тысячелетий назад.

ПРОГНОЗ И РЕКОМЕНДУЕМЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ

Блоковые оползни первого яруса представляют собой грандиозное природное явление, медленно протекающие на береговой полосе. Это сползание находится в фазе глубинной ползучести и никогда не перейдет в фазу среза. Участки жестких блоков вполне пригодны для строительства. Для возможности его осуществления, эти участки блоков должны быть хорошо оконтурены, так как показанные на рис. 2, б границы блоков построены по приближенным данным.

Сползшие межблоковые массивы второго яруса являются результатом компенсационных движений. Они также находятся в фазе глубинной ползучести, и также никогда не перейдут в фазу среза, но в отличие от участков блоков не обладают равномерной и достаточно высокой жесткостью. Здесь всегда возможны небольшие деформации приспособления (адаптации). В верховой части склона, вследствие общих небольших скоростей смещения блоков деформации приспособления также невелики. Эти участки могут быть использованы для строительства; учитывая возможность проявления местных деформаций основания, строительство должно осуществляться с учетом этого обстоятельства. Здания должны иметь простую форму в плане, длинные здания должны иметь осадочные швы, этажность небольшая. Следует избегать применения неразрезных конструкций, фундаменты должны иметь усиленное армирование. Капитальные сооружения здесь нежелательны.

В средней и в особенности, в нижней части склона межблоковые массивы не должны застраиваться. Допустимы только легкие сооружения на участках, где отсутствуют оползни третьего яруса.

Противооползневая деятельность в отношении оползней первого и второго яруса практически невозможна. Борьба с оползнями третьего яруса возможна. При установлении типа противооползневых сооружений необходимо учитывать, что основание оползней также является подвижным, и поэтому эти сооружения должны быть приспособлены к указанным условиям.

ԲԱԼԶՈՒԿԻ (ԲՈՒԼՂԱՐԻԱ) ԵՌԱՆԱՐԿ ԲԱՐԳ՝ ՍՈՂԱՆՔԻ ՄԵՌԱՆԻՉՄԸ¹:

Բուլղարական ԳԱ անդամ-բղրայից, պրոֆեսոր ԲՈՅԱՆ ԿԱՄԵՆՈՎ²,

պրոֆեսոր, տխն. գիտ. դոկտոր ԳԵՈՐԳ ՏԵՐ-ՍՏԵՓԱՆՅԱՆ³,

երկրաբ. միենր. գիտ. քեկեածու ԽՅԱ ԽԻՆԿԻ⁴,

երկրաբաններ ԳԻՆԿԱ ՍԻՄԵՈՆՈՎԱ և ԷԼԿԱ ԱՎՐԱՄՈՎԱ-ՏԱՉԵՎԱ⁵

ՌԵՖԵՐԱՏ. Բալչիկի քաղաքի տերիտորիայի մի մասի վրա զարգանում է հսկայական եռահարկ սողանք: Առաջին հարկը կազմում են հսկայական բլուկները, մերդեղների և կրա-
յին կավերի շերտերի հորիզոնական դասավորությամբ, որոնք պոկվելով բարձրավանդակից
կավերի մակերևույթով դանդաղ սողում են դեպի ծովը: Երկրորդ հարկը կազմում են միջբլու-
կային զանգվածները շերտերի թևեր դասավորումով, որոնք առաջանում են միջբլուկային տա-
րածություններում, բլուկների լանջերից սողացող ապարներով լցվելու հետևանքով: Երրորդ
հարկը կազմում են տարբեր տիպի ենթամակերևույթային սողանքներ, որոնք զարգանում են
միջբլուկային զանգվածների վրա գտնվող հողմահարմած նյութերում: Նկարագրվում է բարդ
սեղանաձևի մեխանիզմը: Առաջին և երկրորդ հարկի սողանքների հետ պայքարը անխաղա-
թելի է: Տրվում են սողանալու կանխագուշակումը և հանձնարարություններ շինարարության
համար:

Երկրաբանություն

Բալչիկը գտնվում է Սև ծովի Բուլղարական ափի հյուսիսային մասում, Դոբրուչա բարձրավանդակի ստորոտում: Բարձրավանդակը ծովի մակերևույ-
թից մոտ 180—200 մ բարձր է:

Բարձրավանդակը կազմված է համարյա հորիզոնական, սարմատյան հասակի շերտերից: Դրանք բաժանվում են երեք մասի, ներքևին՝ կարծր-
պլաստիկ կրային կավեր, միջինը՝ կրաքարեր ու մերգելներ և վերինը՝ օրգա-
նածին խոռոչավոր կրաքարեր: Ստորագիծ պալեոգենյան շերտերը չարդված են
բլուկների. դրանց տարրեր նշանով և ինտենսիվությամբ ուղղաձիգ շարժում-
ները ազդում են սարմատյան նստվածքների վրա: Շրջանը սեյսմիկ ակտիվ է
(10 բալ ըստ միջազգային սանդղակի): Պլիոցենում շրջանը ցամաք էր: Զա-
ուդյան ժամանակից հետո տեղի ունեցան ծովի մակարդակի մի քանի փոփո-
խություններ: Գետնաշերտերն առաջանում են ծածկող սարմատյան վերին կրա-
քարերում. դրանց մի մասը ցամաքուրդվում է դեպի ծովը ստորագիծ կրա-
քարերի և մերգելների միջով՝ աղբյուրների ձևով:

Սողանքներ

Զաուդյան ժամանակից հետո զարգացան խոշոր սողանքներ: Սողանքա-
յին գոտին գտնվում է բարձրավանդակի ստորոտի և ծովափի միջև, լայնու-
թյունը 400—600 մետր է: Այս վայրը ավարտվում է շատ դիք լանջով 40—50 մ
բարձրությամբ: Հսկայական երկարավուն թումբեր (սողացող բլուկներ) հա-
մարյա հորիզոնական շերտավորությամբ իշխում են քաղաքի վրա (նկ. 1)⁶:
Բարձրավանդակի հարևան Զինի-բաիր և Ակ-բաիր բլուկները ունեն 120 և 105 մ
բարձրություն, համապատասխանորեն, իսկ Սուսամ-բաիր բլուկը՝ 65—70 մ
(նկ. 2, 3): Ծովափի մոտ է տեղադրված Սիվրի-թեփե բլուկը, մոտ 50 մ բարձրու-
թյամբ: Այդ բլուկը ներկայումս ինտենսիվ աբրազիայի է ենթարկվում: Այդ
մեծ բլուկների արանքում եղած տարածության մեջ գտնվում են թեք շերտերով
ապարների ավելի փոքր զանգվածներ: Դրանք սողացել են մեծ բլուկների լան-
ջերից և լցրել այդ տարածությունները: Միջբլուկային զանգվածները ծածկող
գրունտներում զարգանում են ծանծաղ ենթամակերևույթային սողանքներ:
Քաղաքը կառուցված է միջբլուկային զանգվածների վրա, որի պատճառով

¹ Բուլղարական Գիտությունների ակադեմիայի և ՀՍՍՀ Գիտությունների ակադեմիայի հա-
մատեղ գիտական հետազոտությունների արդյունքները:

² Ինժեներական երկրաբանության և զետեաշարաբանության սեկցիայի վարիչ:

³ ՀՍՍՀ ԳԱ Գեոմեխանիկայի լաբորատորիայի վարիչ:

⁴ Ինժեներական երկրաբանության և զետեաշարաբանության սեկցիայի գիտական աշխատող:

* Բուլղարական ԳԱ Երկրաբանական ինստիտուտ, Սոֆիա:

⁵ Նկարները և աղյուսակները տե՛ս էջ 6—19:

սողանքներից զգալիորեն տուժեց: Քաղաքում քանդվեց ավելի քան 300 շենք: Մոսկովյան փողոցի պտտական սողանքն ամենաակտիվն է:

Բալչիկի սողանքային գոտու կառուցվածքի և մեխանիզմի ուսումնասիրությունը հիմնված է 8 խոր և 15 ոչ խոր հորատանցքների, բազմիցս անալիզների և 30 սողանքային կետերի տեղաշարժման չափումների վրա, որը կատարվել է 5 տարվա ընթացքում (1966—1970):

Տեղանքի երկրաբանական կտրվածքը I—I գծի երկարությամբ տրվում է նկ. 3-ի վրա: Մերգելների և կրաքարերի բլոկները շարժվում են կավերի վրայով: Բլոկների տեղաշարժման արագությունը ցույց է տրված աղյուսակ 1-ում: Սողունության վերլուծությունը

1966, 1967, 1968, 1969 և 1970 թվականներին կատարվեց գեոդեզիական չափումների հինգ սերիա: Քանի որ այդ բոլոր չափումները կատարվել էին տարվա նույն ժամանակին (օգոստոս), կոորդինատների աճը կարող է դիտվել որպես տեղաշարժի տարեկան արագության բաղադրիչների աճ՝ v_x , v_y և v_z : Այդպիսով սողունության վերլուծումը կարող է հիմնվել չորս ժամանակամիջոցների համար չափումների արդյունքների վրա: Վերլուծության համար չափումները 1968—1969 թվականների ժամանակամիջոցի համար ընդունված էին որպես հիմնական: Վերլուծման տեսական հիմունքները և դրա կիրառման փորձը հրատարակվել են (Տեր-Ստեփանյան և այլք, 1970, 1971):

1968—1969 թթ. ժամանակամիջոցի համար չափումների արդյունքները դժգոհված են 4 և 5 նկարների վրա, որոնք ներկայացնում են սողունության հոդոգրաֆները: Առաջին գծագիրը (նկ. 4) հորիզոնական հարթությունն է v_x և v_y կոորդինատային առանցքներով. վերջինը (նկ. 5)՝ ընդհանուր տեղաշարժման վեկտորի ուղղությամբ ուղղաձիգ հարթությունն է v_x և v_z կոորդինատային առանցքներով:

Հոդոգրաֆների ուղղաձիգ հարթությունում լավ են տարբերվում սև եռանկյունիների միջոցով նշված մի քանի կետեր (նկ. 5): Այդ կետերի խումբը ընկած է B գծի երկարությամբ, որը կազմում է մի փոքր անկյուն հորիզոնի հետ (մոտ 3°): Դրանց համապատասխանող սողանքային կետերը տեղագրված են բլոկների վրա (Ու15-ը՝ Ջինի-բախի վրա, Ու14-ը՝ քաղաքային ստադիոնի բլոկի վրա, և 6 և 9-ը՝ Արևելյան բլոկի վրա, 8՝ Սուսամ-բախի վրա և Ու10-ը՝ Սիվրի-թեփե բլոկի վրա): Այդ կետերը հոդոգրաֆների հորիզոնական հարթության վրա (նկ. 4) դառնում են մի նեղ A շերտիկի երկարությամբ 161° աղիմուտով:

Ընդունելով, որ բլոկների լանջերը գետնի տակ շարունակվում են նույն ուղղությամբ ինչպես վերևում (նկ. 3) կարելի է ուրվագծել բլոկների հիմքերը (նկ. 2, b) և հաշվարկել բլոկների ընդհանուր տեղաշարժը: Այդ չափումների արդյունքները տրված են աղյուսակ 1-ում:

Տեղաշարժման միջին արագության և բլոկների անցած ճանապարհի մեջ եղած հարաբերությունը ցույց է տրված նկ. 6-ում: Ակնհայտ է, որ տեղաշարժման արագությունը մեծանում է հեռավորության աճի հետ: Բլոկների այդպիսի արագացող շարժումը բարձրավանդակից այդ տիպի սողունության ընդհանուր յուրահատկությունն է: Դրա հետևանքն է միջբլոկային տարածության առաջընթաց լայնացումը. դա հարուցում է ապարների սահումը բլոկների լանջերից և միջբլոկային դանդաղածների գոյացումը:

Միջբլոկային դանդաղածքների հղման հարված ծածկույթի վրա զարգանում մի քանի նեթամակերևույթային ծանծաղ սողանքներ: Այդ սողանքների հոդոգրաֆները կազմում են գոտիներ, որոնք համապատասխանում են նախապես նկարագրված առանձնահատուկ վայրերին (Տեր-Ստեփանյան և այլք, 1970). նկ. 4 և 5-ի վրա այդ գոտիները ուրվագծված են:

Տեղանքի արևմտյան մասում Ու12 և Ու13 կետերի մոտ կա մի փոքր հարթային սողանք, որը հավասարաչափ շարժվում է: Երկրորդը՝ արևմտյան մասում, Ու11, Ու16 և Ու15 կետերի մոտ մի նահանջող սողանք է: Դրա լեզվի մոտ գտնվող ծովափնյա պատը քանդվում է այդ սողանքի հետևանքով:

Տեղանքի Արևմտյան մասի երրորդ փոքր սողանքը գտնվում է Սուսամբախի բլուկի հարավային լանջի վրա (կետեր Π_2 և Π_3):

Տեղանքի արևելյան մասում զարգանում է մի մեծ պտտական սողանք: Այստեղ նկատվում են բազմաթիվ համակենտրոն ճեղքեր: Շենքերի մեծամասնությունը քանդվել է, մնացածները դեֆորմացիայի են ենթարկվել: Սողունությունը առաջընթաց տիպի է (կետեր ΠB_4 , Π_7 և Π_8):

Տեղանքի հարավ-արևելյան մասը գտնվում է բլուկի վրա և դանդաղ շարժվում է դեպի ծովը. բլուկի վրա տեղադրված է պահածոների գործարանը: Սողանքային ΠB_5 և Π_5 կետերը արտացոլում են պտտական սողանքի լրացուցիչ ազդեցությունը: Բլուկի սեփական տեղաշարժի արագությունը կարող է գնահատվել 160 մմ տարում մեծությամբ:

Սողունության մեխանիզմը

Բալչիկի սողանքները ներկայացնում են բարձրավանդակի ծովային եզրի լեռնաքման առանձնահատուկ տիպ:

Π_2 -կոմպոնենտ կավերի վրա պտկած սարմատյան կարծր ապարները գտնվում են բարդ լարված վիճակում ստորադիր պալեոգենյան բլուկների ուղղածիզ շարժումների հետևանքով, որը կատարվում է տարբեր ինտենսիվությամբ և նշանով: Աղետային երկրաշարժերի ինտենսիվությունը պատմական ժամանակ հասնում էր 10 բալի. դրանք հավանական է ավելի ուժեղ էին երկրաբանական զարգացման վերջին ժամանակաշրջանում, որը և առաջացրեց բարձրավանդակի կարծր ապարների փուլզույմ: Փուլզույմը կատարվում էր գլխավորապես բարձրավանդակի եզրին զուգահեռ, շոշափող լարումների առավելագույն կենտրոնացման ուղղությամբ: Այդպիսով խախտվում էր բարձրավանդակի անընդմիջությունը:

Պոկված երկարավուն բլուկները սկսեցին շարժվել դեպի ծով: Շարժման արագությունը սկզբում ընչին էր. դա չի կարող բացահայտվել սովորական չափումների մեթոդներով: Բլուկների սկսվող տեղաշարժման հետևանքն է ապարների դիմադրության նվազումը. դա բացահայտվեց բարձրավանդակի վրա $\Pi 8$ ռևայերի հորատման ժամանակ, 125 և 153 մ խորության վրա (նկ. 2, Ե):

Կավերի շերտի վրայով կարծր բլուկների սողքին զուգընթաց բլուկները անջատվում են բարձրավանդակից, սկզբում ինչպես ծանծաղ առուներ, իսկ հետո որպես ավելի խորը իջեցումներ: Ապարների զանգվածները դանդաղ սողում են հարակից լանջերից բլուկների արանքում առաջացող տարածության մեջ, փոխելով շարժման ընթացքում շերտերի կողմնորոշումը: Բլուկների տեղաշարժը և միջբլուկային զանգվածների առաջացումը միշտ մնում են խորքային սողքի փուլում, այսինքն լարումները երբեք չեն հասնում մեծությունների, որոնք համապատասխանում են սողքի դիմադրության լրիվ մոբիլիզացմանը:

Բլուկների տեղաշարժի արագությունը աստիճանաբար աճում է, սակայն սկզբում դա փոքր էր: Այսպիսով, 30 մ ճանապարհ անցնելուց հետո արագությունը մոտ 10 մմ/տարի է, 100 մ տեղաշարժումից հետո՝ 50 մմ/տարի, 170 մ տեղաշարժումից հետո՝ 200 մմ/տարի և 240 մ տեղաշարժումից հետո՝ 600 մմ/տարի: Այս թվերը ցույց են տալիս բլուկների տեղաշարժման արագության աճը:

Բլուկները ներկայացնում են սողունության առաջին հարկը. դրանք տեղաշարժվում են կոշտ առանց դեֆորմացիայի: Տեղաշարժման վեկտորների թեքությունը 3° է (գիրծ B, նկ. 5):

Հստ ակտիվության հեշտությամբ են տարբերվում բլուկների երեք շարք: Նվազագույն ակտիվ է արևմտյան շարքը Սուսամբախի բլուկով: Այդ բլուկի ընդհանուր տեղաշարժը մեծ չէ (հավանաբար մոտ 95 մ): Նորասկծովյան և Նիմֆեյան դարատափերը պահպանվել են այդ բլուկի ստորոտում, որի վրա գտնվում է քաղաքային պլավը: Ավելի ակտիվ է արևելյան շարքը՝ քաղաքային ստադիոնի և պահածոների գործարանի բլուկների հետ: Դրանց առավելագույն տեղաշարժը հասել է 162 մ: Այս շարքի ամենացածր բլուկը լվացվել էր արբաղիայի հետևանքով նորասկծովյան դարատափի առաջացման ժամանակ:

այակ. Նիմֆեյան դարատափը այստեղ չի պահպանվել: Ամենաակտիվն է մի-
լիին շարքը Զինի-բաիր և Սիվրի-թեփե բլուկներով: Վերջինի առավելագույն
տեղաշարժը 244 մ է. դրա ստորոտում դարատափերը լիովին արադիայի են
ենթարկվել: Այժմ այդ բլուկը արագ քանդվում է:

Միջբլուկային զանգվածքները սողունության երկրորդ հարկն են: Միջբլու-
կային զանգվածքների հորիզոնական տեղաշարժի արագությունը որոշվում է
հարակից բլուկների տեղաշարժի արագությամբ. ուղղաձիգ ուղղությամբ այդ
զանգվածքները ենթարկվում են լրացուցիչ կոմպենսացման նստման միջ-
բլուկային տարածությունների ընդլայնման հետևանքով: Դրա միջին մեծու-
թյունը հավասար է $u_z = (v_1 - v_2)h/l$, որտեղ v_1 և v_2 հարակից բլուկների ա-
րագությունն է, h և l զանգվածքի բարձրությունը և լայնությունն են հա-
մապատասխանորեն:

Ամենից լավ ուսումնասիրված են մեծ կենտրոնական միջբլուկային զանգ-
վածքը (ռեպերները Ո13, Ո12, Ո3 և Ո11):

Այդ ռեպերների արագության և ռեպեր Ո14-ից հեռավորության միջև
կախումը ցույց է տրված աղյուսակ 2-ի և նկ. 6, b-ի վրա: Երևում է, որ
1) ստադիոնի մոտի բլուկը հաղորդում է իր արագությունը միջբլուկային զանգ-
վածքին (Ո14 և Ո13 ռեպերների արագությունը հավասար է). 2) միջբլուկա-
յին զանգվածքը հավասարաչափ ընդարձակվում է (արագությունները հա-
վասարաչափ աճում են). 3) միջբլուկային զանգվածքի և առջևը գտնվող Սիվ-
րի-թեփե բլուկի միջև առաջանում է նոսրացում (ռեպեր Ո10 շարժվում է
ավելի արագ):

Սողունության երրորդ հարկն են մի քանի տարբեր տիպի ենթամակերե-
վույթային սողանքներ, որոնք զարգանում են դելյուվիում, կախված երկրա-
բանական, գետնաշրջանական և երկրաչափական պայմաններից: Այստեղ
հանդիպում են պտտական և հարթային սողանքներ, սողանքային օջախի
տարբեր տեղադրությամբ: Այդ սողանքներն ունեն տեղաշարժի անհավասա-
րաչափ արագություններ. ակտիվ ժամանակաշրջանում գտնվում են կտրման
փուլում, հանգիստ ժամանակաշրջանում՝ խորքային սահքի փուլում:

Բալչիկի սողանքների յուրահատուկ մեխանիզմն իր տեսակի մեջ միակը
չէ: Բլուկների տարասողումը զգալիորեն փոքր մասշտաբով դիտվում է բազ-
մաթիվ տեղերում (Sharpe, 1938): Սոչիի մոտ կաթիրինթոսում 6—8 մ լայնու-
թյամբ վերին կավճային կրաքարերի բլուկները սողում են 10° անկման ան-
կյուն ունեցող շերտավորության մակերևույթով: Սողունության արագությունը
աճում է տեղաշարժի հետ միասին. հետևաբար բլուկների միջև անցումները
լայնությունը լանջի վերին մասում կազմում է 3—5 սմ և հասնում է 12 մ
ստորին մասում (Տեր-Ստեփանյան, 1969):

Տեղաշարժի միջին Ս արագության և սղքի S տարածության հարաբերակե-
ցությունը (նկ. 6, a) հնարավորություն է տալիս գտնել T ժամանակը, որն
անցավ բլուկների տեղաշարժի սկզբից: Սողքի առավելագույն տարածությունը
244 մ բաժանվում է երկու ինտերվալի՝ 0—24 մ և 24—244 մ: Ժամանակի և
սողունության արագության հարաբերակցությունը (նկ. 6, c) գտնվում է օգ-
տագործելով երկրորդ ինտերվալի համար Սիմպսոնի գրաֆիկական ինտե-
գրավման բանաձևը և ընդունելով հավասարաչափ արագացող շարժում առա-
ջինի համար: Հաշվարկած մեծությունները տրված են աղյուսակ 1-ի վերջին
սյունակում:

Ճիշտ չէր լինի եզրակացնել աղյուսակ 1-ից, որ կար մի ժամանակաշրե-
ջան, մոտ 8—11 հազար տարի առաջ, երբ բոլոր բլուկները պոկվեցին բարձ-
րավանդակից և հետո այդ պրոցեսը դադարեց: Պրոցեսը շարունակվում է,
բայց այն չոր կարող սկզբնական ժամանակաշրջանում բացահայտվել տեղա-
շարժի փոքր արագության հետևանքով: Այդպիսով մի բլուկ, որը պոկվել մեր
դարաշրջանի սկզբում, պետք է ունենա տեղաշարժի արագություն 0,002 մ/տա-
րում և անցներ միայն 2 մ տարածություն: Այդպիսի տեղաշարժի արագու-
թյունը գտնվում է չափումների սխալի սահմաններում:

Աղդունդի կանխագուշակումը և հանձնարարվող միջոցառումները:

Առաջին հարկի բլոկների սողանքը մի հսկայական բնական երևույթ է, որը դանդաղ կատարվում է ծովափում: Այդ ընթացքը խորքային սողքի փուլումն է և երբեք չի անցնի կտրման փուլին: Կարծր բլոկները կարող են օգտագործվել շինարարության համար:

Երկրորդ հարկի միջբլոկային զանգվածները նույնպես գտնվում են խորքային սողքի փուլում և երբեք չեն անցնի կտրման փուլին, բայց ի տարբերություն բլոկների՝ դրանք կարծր չեն: Այստեղ հնարավոր են հարմարեցման դեֆորմացիաներ, հատկապես ծովափի կողմերում: Կառուցումը հնարավոր է բարձրավանդակին հարակից մասերում: Շենքերը պլանում պետք է լինեն պարզ, երկար շենքեր պետք է ունենան նստման կարեր, հիմքերը պետք է ուժեղացվեն: Պետք է խուսափել բազմահարկ կամ կապիտալ շենքերից և ոչ կտրուկի կոնստրուկցիաներից: Միջբլոկային զանգվածները միջին և հատկապես լանջի ցածր մասերում չպետք է կառուցապատվեն:

Առաջին և երկրորդ հարկի սողանքների հետ պայքարը անիրագործելի է: Երրորդ հարկի սողանքների հետ պայքարը հնարավոր է. պետք է հաշվի առնել, որ այդ սողանքների հիմնատակը շարժուն է. այդ պատճառով կոնստրուկցիաները պետք է հարմարեցնել տվյալ պայմաններին:

MECHANISM OF THE COMPLEX THREESTORED LANDSLIDE IN BALCHIK, BULGARIA¹

Boyan KAMENOV, Prof., Corr.Mem., Bulgarian Ac. Sc.^{2*},

George TER-STEPANIAN, Prof., Dr.Techn.Sc.³,

Ilya ILIEV, Cand.Geol.Miner.Sc.^{4*}, Ginka SIMEONOVA, Geologist^{4*}

and Elka AVRAMOVA-TACHEVA, Geologist^{4*}

SYNOPSIS. A big threestored landslide is being developed on a part of area of town Balchik in Bulgaria. The first story are giant blocks of marls and carboniferous clays with horizontal layers which break away from plateau and creep slowly over clay surface toward the sea; the rate of displacement increases as the creep proceeds. The second story are massives of rocks with inclined layers formed in spaces between blocks by their filling with rocks creeping from the blok slopes. The third story are subsurface landslides being developed in the loose products of weathering on massifs located between blocks. The mechanism of the complex sliding is described. Control of first and second story landslides is unfeasible. Prognosis of sliding and recommendations for construction are given.

Geology

Balchik is located in northern part of the Bulgarian coast of the Black Sea, at the foot of Dobrudja plateau. The plateau is raising on the height 180—200 meters above the sea level. The plateau is composed of almost horizontal layers of Sarmatian (Miocene). They are divided into three parts: lower one—hard-plastic lime clay; middle one—limestones and marles; upper one—organogeneous cavern limestones. The Paleogene underlying beds

¹ Results of scientific investigations made jointly by the Bulgarian and Armenian Academies of Sciences.

² Head, Section of Engineering Geology and Hydrogeology.

³ Head Laboratory, of Geomechanics, Armenian Academy of Sciences.

⁴ Scientific Worker, Section of Engineering Geology and Hydrogeology.

* Geological Institute, Bulgarian Academy of Sciences, Sophia.

are broken into blocks; their vertical movement with different signs and intensity influences the Sarmatian deposits. The region is seismically active (intensity 10 according to the international scale). In the Pliocene the region was a dry land. There were several alternations of the sea-level in the post-Chaudi time. Ground water is formed in the covering Sarmatian upper limestones; part of them is drained to the sea through the underlying limestones and marles in form of springs.

Landslides

Big landslides have been developed in the post-Chaudi time. Landslide belt is located between the plateau foot and the shoreline; its width is 400—600 m.

This area is terminated in the abrupt slope 40—50 m. high. Huge elongated ridges—sliding blocks with almost horizontal stratification are rising above the town (Fig. 1).⁵ The blocks neighbouring to the plateau as Djini-bahir and Ak-bahir are 120 and 105 meters high, correspondingly, that of Soosam-bahir—65—70 m. (Fig. 2,b). The Block Sivri-tepe, about 50 m. high is located at the seashore. This block is intensively abraded at present. Lesser rock masses with inclined layers are located in spaces between these large blocks. They have been slid from slopes of large blocks and filled these spaces. Shallow subsurface landslides are developing in soils covering these inter-block massifs. The town has been built over the inter-block massifs; therefore it was damaged considerably by landslides. More than 300 buildings were destroyed in the town; the most active was a rotational landslide of the Moscow street.

Study of structure and mechanism of the Balchik landslide area is based on 8 deep and 15 shallow borings, numerous analysis of soil samples and measurements of displacement of 30 bench marks, performed during 5 years (1966—1970).

Geological cross-section of the area along line I—I is given on Fig. 3; blocks of marls and limestones are moving over clays. The rate of block displacement is shown in Table 1.

Analysis of sliding

Five series of geodetic measurements were made in 1966, 1967, 1968, 1969 and 1970. Since all these measurements were made at the same time of the year (August), the increments of coordinates may be considered as components of the annual rate of displacement v_x , v_y and v_z . Thus the analysis of sliding may be based on results of measurements for four time intervals. Measurements for the time interval 1968—1969 were taken as the basic for this analysis. Theoretical fundamentals of analysis of sliding and experience of its application are published elsewhere (Ter-Stepanian et al., 1969, 1971).

The results of measurements for the interval 1968—1969 are plotted on Figs. 4 and 5, representing hodographs of sliding. The former diagram (Fig. 4) is a horizontal plane with coordinate axes v_x and v_y ; the

⁵ Figures and Tables see pp. 6—19.

latter one (Fig. 5)—a vertical plane along the total vector v of displacement rate, with coordinate axes v_h and v_z .

A group of points marked by black triangles is distinguished well on the vertical plane of hodographs (Fig. 5). This group of points is located along line B , forming a small angle with horizon (about 3°). The corresponding bench marks are installed on blocks (П15 on Djini-bahir, П14 on block at Town Stadium, 6 and 9 on the Eastern block, 8 on Soosam-bahir and П10 on Sivri-tepe. The same points on the horizontal plane of hodographs (Fig. 4) are located along a narrow strip A with azimuth 161° . Assuming that the block slopes continue underground with the same inclination as above the ground (Fig. 3) the base of blocks may be outlined (Fig. 2,b) and total displacement of each block calculated. Results of these measurements are given in Table 1.

The relationship between average rate of displacement and distance of block travel is shown on Fig. 6,a. It is evident that the displacement rate increases as the distance grows. Such an accelerating movement of blocks from plateau is a general feature of this type of sliding. A progressive extension of inter-block spaces is a consequence; it produces sliding of rocks from block slopes and formation of inter-block massifs.

Several subsurface shallow landslides are developing in the weathered cover of inter-block massifs. Hodographs of sliding for these landslides form belts which correspond to particular areas described earlier (Ter-Stepanian et al., 1969); these belts are outlined on Figs. 4 and 5.

A small planar landslide is in the western part of the area near bench marks П12 and П13; it is in uniform motion. The second one in western part, near bench marks П11, ДМ6 and ДМ5 is a retreating landslide. A sea-wall at its tongue is being destroyed as a result of this sliding. The third small landslide in western part of area is located on the southern slope of Soosam-bahir block (bench marks И₂ and И₃).

A big rotational slide is developing in the eastern part of the area. Numerous concentric fissures are observed here. The majority of buildings is demolished, the rest are deformed. The sliding is of advancing type (bench marks ДБ4, И₇ and И₈).

The south-eastern part of the area is on a block and moves slowly seaward; a cannery is located on this block. Bench marks ДБ5 and И₅ reflect the additional influence of the rotational landslide. Rate of proper displacement of this block may be estimated by value 160 mm/year.

Mechanism of sliding

Balchik landslides are a unique type of denudation of shore edge of a plateau. Sarmatian stiff rocks lying on incompetent clays are in combined stress state due to the vertical movements of different intensity and sign of underlain Paleogene blocks. Catastrophic earthquakes reached intensity 10 in the historical time; they were probably much heavier in the last period of geological development. This has produced a breaking of stiff rocks of plateau. The breaking proceeds mainly parallel to the edge of plateau, in direction of maximum concentration of shear stresses. Thus

the continuity of plateau was disturbed. The broken off elongated blocks began to move seaward. The rate of movement at the start is infinitesimal; it may not be detected using customary methods of measurements. The decrease of strength of rocks is a sequences of beginning displacement of blocks; it was detected at the depth 125 and 153 metres by drilling of the bench. mark Д8 on plateau near the edge (Fig 2,b).

As the creep of stiff blocks over clay stratum proceeds blocks separate from the plateau first as shallow ditches and later as deeper depressions. Rock masses are crept down from adjoining slopes into the space formed between blocks; orientation of strata has been changed during this movement. Block movement and formation of inter-block massifs proceeds always in the phase of depth creep, i.e. the stresses never reach values corresponding to the total mobilization of shear strength.

The rate of block displacement increases gradually; however at first it was small. So, after displacement 30 metres the rate is about 10 millimetres per annum, after displacement 100 metres—60 mm/year, displacement 170 m—200 mm/year and after displacement 240 m—600 mm/year. These figures show the increase of the block displacement rate.

Blocks are the first story of sliding; they displace rigidly without deformation. The inclination of displacement vectors is 3° (line B, Fig. 5).

Three rows of block with different activity are easily distinguished. The least active is the western row with the block Soosam-bahir. The total displacement of this block is not great (probably about 95 m). The New Black Sea and Nymphaean terraces have been preserved at the foot of this block; the Town beach is located on them. More active is the eastern row with blocks at the Town Stadium and at Cannery. Its maximum displacement has reached 162 m. The lowest block of this row was washed out by abrasion during formation of the New Black Sea terrace; the Nymphaean terrace has not preserved here. The most active is the middle row with blocks Djindir-bahir and Sivri-tepe. The maximum displacement of the latter is 244 m., the terraces at its foot are abraded away completely; an accelerated destruction of this block is proceeding at present.

Inter-block massifs are the second story of sliding. The horizontal displacement rate of inter-block massifs is determined by the displacement rate of adjoining blocks while in the vertical direction these massifs undergo an additional compensational settlement due to the extension of the inter-block spaces. Its average value equals to $u_z = (v_1 - v_2)h/l$, where v_1 and v_2 —velocities of adjoining blocks, h and l —height and length of the massif, correspondingly.

The third story of sliding are several subsurface landslides of different type which develop in the talus depending on geological, hydrogeological and geometric conditions. Rotational and planar landslides with different location of sliding locus were met with. These landslides have non-uniform displacement rates; in active periods they are in the phase of shear, in repose periods they are in the phase of depth creeps.

Peculiar mechanism of Balchik landslides is not unique. Creeping away of blocks in considerably lesser scale has been observed in many places (Sharpe, 1938). Blocks of Upper-Cretaceous limestones in Labyrinth in Khosta near Sochi, on the Black Sea shore creep away along the bedding plane with a dip 10° . The rate of creep increases as the movement proceeds; therefore the width of passes between blocks is 3–5 cm in the upper part of the slope and reaches up to 12 m in its lower part (Ter-Stepanian, 1966).

Relationship between the average rate v of displacement and creep distance s (Fig. 6,a) makes it possible to find out the time T elapsed from the beginning of block movement. The maximum distance of creep 244 m is divided into two intervals: 0–24 m and 24–244 m. Relationship between time and creep distance (Fig. 6,c) was found using Simpson's formula for graphic integration for the second interval and assuming an uniformly accelerated motion for the first one. The calculated values are given in the last column of Table 1.

It would be incorrect to conclude from Table 1, that there was a time period, about 8–11 thousand years ago, when all blocks were broken off from the plateau and then the process ceased. It is still continuing but may not be detected because of small displacement rate in the initial period. Thus, a block which has started to move at the beginning of our era should have the rate 0.002 m/year and have passed only 2 metres. Such a displacement rate is within the error of measurements.

Prognosis of sliding and landslide control

Block slides of the first story are a giant natural phenomenon which takes place slowly in the seaside. The process is in the phase of depth creep and will never turn into the phase of shear. The stiff blocks are suitable for construction.

Inter-block massifs of the second story are a result of compensating movements. They are also in the phase of depth creep and will never turn into the phase of shear, but unlike blocks they are not enough stiff. Here deformation of adaptation are always possible, especially in the seaward parts. Construction is possible in parts adjoining the plateau. Buildings should be simple in plane, long buildings should have settlement joints, footings should be strengthened; multistoried or monumental buildings and continuous constructions should be avoided. The inter-block massifs should not be built-up in the middle and especially in the lower parts of the slope.

Control of landslides of the first and second stories is unfeasible. Control of landslides of third story is possible; it should be taken into account that the base of these landslides is travelling; hence the constructions should be adjusted to these conditions.

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ — ЛИТЕРАТУРА — REFERENCES

- ՏՆՐ-Ստեփանյան Գ., 1969. Լանդերի խորքային սողի տեսակները ժայռապարներում: Գեոմեխանիկայի պրոբլեմներ, Երևան, 3:49—69:
- ՏՆՐ-Ստեփանյան Գ., Գուլշտեյն Մ., Տուրովսկայա Ա. և Քարիցկայա Ս., 1970. Բազմաշարի սողանքներ և փափուկ կավերի դիմադրությունը. Գեոմեխանիկայի պրոբլեմներ, Երևան 5:16—48.
- ՏՆՐ-Ստեփանյան Գ. և ՏՆՐ-Ստեփանյան Հ., 1971. Սողանքների վերլուծում. Գեոմեխանիկայի պրոբլեմներ, Երևան, 5:
- Берегов Р., 1941. Сличения по Черноморскому крайбрежью при г. Балчик. Годишник на Дирекция за природни богатства, отд. А, т. I.
- Демирев А. и Стоева П., 1968. Върху деформациите на пълзене на долиносарматски глинни от Балчишкото крайбрежие. Спис. Бълг. геол. дружество, год. XXIX.
- Димитров Л., 1959. Тектоника на СИ България в светлината на гравиметричните проучвания. Извест. на геолог. инст., София, кн. VII.
- Каменов Б. и Демирев А., 1965. Оползневые явления на побережье Черного моря между Варной и Каварной. Доклады КБГА, VII конгресс, ч. V.
- Кунтыш М. Ф., Алексеев С. Ф. и Тачева Е., 1969. Исследование реологических свойств горных пород района Балчик Черноморского побережья НРБ. Научные сообщения Института горного дела им. А. А. Сковинского.
- Попов В., 1953. Български Добруджански Черноморски бряг. Изв. на Българското географско дружество, кн. I (XI).
- Тер-Степанян Г. И., 1967. Типы глубинной ползучести склонов в скальных породах. Доклады к I Международному конгрессу по механике скальных пород, Москва, Изд. НАМГиФ, 102—113; Проблемы геомеханики, Ереван 1969, 3:49—69.
- Тер-Степанян Г. И., 1969. О механизме многоярусных оползней. Труды к VII Международному конгрессу по механике грунтов и фундаментостроению, Стройиздат, Москва, 190—199.
- Тер-Степанян Г. И., Гольдштейн М. Н., Туровская А. Я. и Бабицкая С. С., 1970. Многоярусные оползни и прочность мягких глин. Проблемы геомеханики, Ереван, 4:16—48.
- Тер-Степанян Г. И. и Тер-Степанян А. Е., 1971. Анализ оползания природных склонов. Проблемы геомеханики, Ереван, 5.
- Lepsi J., 1928. Litorulul Sabla-Ecrene. Memoriile sectiunii stiintifice. Seria 111 tomul IV.
- Pašek J. and Rybař J., 1969. Svahové pohyby na Černomořském pobřeží Bulharska. Časopis pro mineralogii a geologii, Praha, Ročník 14, 3—4.
- Plans in the Black sea. 1854. Baljik Bay. M I: 39130.
- Sharpe C.F.S., 1938. Landslides and related phenomena. New York: Columbia University Press.
- Ter-Stepanian G., 1966. Types of depth creep of slopes in rock masses. Proceedings, First Congress, Internat. Soc. Rock Mech., Lisbon, 2: 157—160; Problems of Geomechanics, Yerevan 1969, 3:49—69.
- Ter-Stepanian G. and Goldstein M., 1969. Multistoried landslides and strength of soft clays. Proceedings, Seventh Internat. Confer. Soil Mech. Found. Engg., Mexico, v. II, p. 693—700; Problems of Geomechanics, Yerevan, 1970, 4: 16—48.
- Ter-Stepanian G. and Ter-Stepanian H., 1971. Analysis of landslides. Proceedings, IV Budapest Confer. Soil Mech. Found. Engg., Budapest, p. 499—504.