

ИЗВѢСТІЯ
Томскаго Технологическаго Института
Императора Николая II.
т. 13. 1909. № 1.

III.

В. А. Обручевъ.

Къ вопросу о способѣ передвиженія болѣе грубыхъ осадковъ
вдоль береговъ водныхъ бассейновъ.

Съ таблицей чертежей.

1— 12.

Къ вопросу о способѣ передвиженія болѣе грубыхъ осадковъ вдоль береговъ водныхъ бассейновъ.

(Съ таблицей чертежей).

Въ геологической литературѣ до сихъ поръ удѣлялось мало вниманія весьма интересному и въ практическомъ отношеніи важному вопросу о способѣ передвиженія валуновъ, гальки и крупнаго песка вдоль береговъ морей и озеръ. Эти продукты морской абразіи и рѣчной эрозіи не могутъ находиться въ взвѣшенномъ состояніи въ стоячей водѣ и слѣдовательно должны перемѣщаться перекатываніемъ по дну. Движеніе ихъ назадъ и впередъ подѣ вліяніемъ волнъ прибоя, надвигающихся параллельно береговой линіи, т. е. дѣйствующихъ перпендикулярно къ этой линіи, изучено и описано подробно; но перемѣщеніе этихъ болѣе грубыхъ осадковъ вдоль берега подѣ вліяніемъ волнъ, двигающихся подѣ косымъ или прямымъ угломъ къ береговой линіи, не разъяснено.

Беремъ новое дополненное и исправленное изданіе „физической геологіи“ Мушкетова, представляющее наиболѣе полное изъ всѣхъ руководствъ не только среди русской, но и среди иностранной литературы; на стр. 576 тома II находимъ, что авторъ, говоря о ширинѣ намывного берега, указываетъ, что она „зависитъ, главнымъ образомъ, отъ отношенія направленія надвигающихся волнъ и простиранія берега; если волны набѣгаютъ перпендикулярно къ берегу, то намывная полоса получается шире, нежели въ томъ случаѣ, когда онѣ ударяютъ подѣ какимъ либо острымъ угломъ. Если же волны идутъ параллельно берегу, то намыванія почти не происходитъ, а минеральный матеріалъ движется вдоль берега до тѣхъ поръ, пока не встрѣтитъ благопріятный для отложенія берегъ. Такъ какъ простираніе берега и направленіе волнъ разнообразно измѣняются, особенно на извилистыхъ берегахъ, то, очевидно, ширина намывного берега весьма непостоянна и измѣняется на небольшихъ разстояніяхъ. Положимъ, что волны набѣгаютъ на берегъ подѣ косымъ угломъ, то, очевидно, сила ихъ при ударѣ о берегъ раздѣлится на двѣ, изъ кото-

рыхъ одна перпендикулярна къ берегу, а другая—параллельна; первая производитъ намываніе, а вторая двигаетъ наносъ вдоль берега *); чѣмъ уголъ острѣе, т. е. чѣмъ волны ближе къ параллельному положенію, тѣмъ въ данномъ мѣстѣ меньше будетъ отлагаться и, напротивъ, больше переноситься, и наоборотъ“.

Далѣе (стр. 577) авторъ рассматриваетъ образованіе косъ (пересыпей, стрѣлокъ) и указываетъ, что послѣднія могутъ состоять изъ гравія, галекъ и даже валуновъ.

Описывая отложенія, оставляемыя моремъ (стр. 594), авторъ говоритъ объ отложеніяхъ верхней береговой зоны (пляжа), что онѣ отличаются наибольшимъ петрографическимъ разнообразіемъ, *въ зависимости отъ геологическаго состава береговъ* *) и затѣмъ рассматриваетъ болѣе подробно способъ образованія этихъ отложеній, при чемъ изъ текста видно, что вездѣ подразумѣвается работа волны, набѣгающей перпендикулярно къ берегу.

Изъ приведеннаго видно, что авторъ предполагаетъ возможность перемѣщенія и грубаго матеріала вдоль берега, но способъ этого перемѣщенія излагается имъ совершенно неясно. Какъ понять выраженіе, что сила косой волны раздѣляется на двѣ слагающія—параллельную и перпендикулярную берегу и что первая производитъ перемѣщеніе матеріала вдоль берега, а вторая—къ берегу? Одинъ и тотъ же камень не можетъ двигаться одновременно въ двухъ направленіяхъ; поэтому нужно думать, что авторъ представляетъ себѣ способъ перемѣщенія такимъ образомъ, что часть матеріала движется къ берегу подъ вліяніемъ одной слагающей, а другая передвигается вдоль берега подъ вліяніемъ другой слагающей. Вопросъ о томъ, на какое разстояніе частицы могутъ переноситься параллельно берегу отъ пункта первоначальнаго своего происхожденія, авторомъ не рассмотрѣнъ совершенно, а его указаніе, что составъ отложеній пляжа зависитъ отъ петрографическаго состава берега, наводитъ на мысль, что матеріалъ, чуждый данному берегу, не можетъ играть существенной роли.

Въ руководствахъ на иностранныхъ языкахъ мы находимъ почти такое же отношеніе къ интересующему насъ вопросу. Такъ, Лаппаранъ **), подобно Мушкетову, говоритъ о слагающей, параллельной берегу, получающейся при косой волнѣ и обусловливающей постепенное перемѣщеніе гальки вдоль берега; онъ приводитъ примѣры такого перемѣщенія съ береговъ пролива Пá-де-Калэ, но на сравнительно небольшія разстоянія.

*) Курсивъ мой.

**) Traité de Géologie. Vol. I, p. 244, Paris 1900.

Въ самомъ новомъ курсѣ геологіи Е. Науг'а *) также говорится о слагающей, параллельной берегу, которая *создаетъ теченіе*, обуславливающее перенесеніе матеріала вдоль берега; на стр. 476 авторъ указываетъ, что грубый матеріалъ переносится на *небольшое* разстояніе, тогда какъ песокъ часто передвигается очень продолжительно-время вдоль берега, уносимый теченіемъ, постоянное направленіе котораго обусловлено преобладаніемъ какого либо опредѣленнаго вѣтра.

Но, очевидно, не всѣ геологи раздѣляютъ этотъ взглядъ на возможность перемѣщенія даже только песка на далекія разстоянія, если судить по новѣйшей замѣткѣ Р. Брэона (Bréon) въ протоколахъ французской академіи наукъ **). Въ окрестности Берка на берегу Падде-Калэ этотъ авторъ изучалъ составъ гальки и песка и нашелъ, что рядомъ съ мѣловой галькой часто попадаются валуны кристаллическихъ сланцевъ и изверженныхъ породъ, выходы которыхъ отсутствуютъ на берегу на разстояніи не менѣе 250—300 килом. вплоть до Бретани. Песокъ пляжа у Берка также состоитъ изъ минераловъ, заимствованныхъ главнымъ образомъ изъ аналогичныхъ породъ.

Стараясь выяснить, какимъ образомъ продукты разрушенія этихъ породъ могли очутиться вблизи Берка, авторъ замѣчаетъ, что валуны нерѣдко сохранили еще острые ребра и могли быть принесены съ береговъ Бретани на плавающихъ льдахъ; но переносъ песка нельзя приписать послѣднимъ и способъ его перемѣщенія, по мнѣнію автора, остается не разъясненнымъ.

Между тѣмъ вопросъ этотъ разъясняется совершенно просто, если ближе познакомиться съ способомъ перемѣщенія болѣе грубыхъ матеріаловъ вдоль берега, такъ неясно излагаемымъ въ руководствахъ по геологіи. Эта неясность побуждаетъ меня опубликовать наблюденія, сдѣланныя еще нѣсколько лѣтъ тому назадъ, и основанныя на нихъ теоретическія разсужденія.

Будучи лѣтомъ 1902 г. въ Алуштѣ и лѣтомъ 1904 г. въ Ялтѣ, я проводилъ цѣлыя часы на морскомъ берегу, наблюдая прибой и собирая коллекцію продуктовъ дѣятельности моря для Геологическаго Кабинета Томскаго Технологическаго Института. При этомъ мнѣ бросилось въ глаза, что въ обоихъ пунктахъ въ составъ гальки и валуновъ пляжа входятъ очень разнообразныя породы, между прочимъ всѣ извѣстныя изверженныя породы южнаго берега Крыма—дациты, андезиты, ихъ туфы, порфиры, порфириты, мелафиры, кварцево-авгитовые діориты, тогда какъ крутые береговые обрывы, ограничивающіе пляжъ—

*) Traité de Géologie. Vol. I, p. 473, Paris 1907.

**) Comptes Rendus 1907, CXLIV, p.p. 759—760. Galets et sables du Pas de Calais.

и въ Ялтѣ, и въ Алуштѣ на нѣсколько верстъ въ обѣ стороны состоятъ исключительно изъ юрскихъ сланцевъ и сланцеватыхъ песчаниковъ. Послѣдніе, конечно, входятъ въ составъ гальки въ значительномъ количествѣ, но все-таки большое участіе изверженныхъ породъ, въ томъ числѣ такихъ, выходы которыхъ отстоятъ отъ Ялты и Алушты на десятки верстъ, не можетъ не обратить на себя вниманія.

Первоначально я старался объяснить себѣ это присутствіе гальки не мѣстныхъ породъ частью приносомъ ея рѣчками изъ глубины Крымскихъ горъ, частью--переносомъ на морскомъ льдѣ вдоль берега. Но изученіе процессовъ прибоя показало, что вопросъ разрѣшается проще и что галька и валуны могутъ перемѣщаться вдоль берега такъ быстро, что прохожденіе ими десятковъ и даже сотенъ верстъ не представляетъ чего либо невѣроятнаго и требуетъ только соответственнаго промежутка времени.

Въ этомъ перемѣщеніи я убѣдился посредствомъ простого опыта. Среди гальки и мелкихъ валуновъ пляжа въ обоихъ пунктахъ довольно часто попадаетъ желтый и красный кирпичъ, яркій цвѣтъ котораго на общемъ темномъ фонѣ каменистаго пляжа даетъ возможность хорошо слѣдить за перемѣщеніемъ одного и того же камня подъ вліяніемъ волнъ. Бросая такую кирпичную гальку, величиной около кулака, на пляжъ, обнажившійся при отливѣ волны достаточно сильнаго прибоя, я замѣтилъ, что при прямой волнѣ, т. е. надвигающейся перпендикулярно къ береговой линіи, камень катается назадъ и впередъ, приблизительно по одному и тому же пути; но при косой волнѣ онъ перемѣщается *вдоль берега по зигзагообразной линіи* съ различной быстротой въ зависимости отъ силы отдѣльныхъ волнъ. Способъ перемѣщенія слѣдующій (фиг. 1): пусть гребень волны MN образуетъ уголъ α съ береговой линіей NO; камень брошенъ въ точку A на разстояніи n отъ берега; опрокидываемая волна подхватываетъ его и перекачиваетъ *по направленію своего движенія*, т. е. подъ угломъ $90^\circ - \alpha$ къ берегу, въ точку B на разстояніи a отъ A. Въ B камень остается лежать нѣсколько мгновеній, пока отливающая вода разбившейся волны снова не подхватитъ его и не перекатитъ, но уже *по направленію наибольшаго уклона пляжа*, обыкновенно подъ угломъ 90° къ берегу, которому она сама слѣдуетъ при отливѣ обратно въ море; пусть она принесетъ камень въ точку C на разстояніи b отъ точки B. Углы ABC и MNO, какъ углы съ взаимно перпендикулярными сторонами, равны; а такъ какъ уголъ MNO мы обозначили α , то и $ABC = \alpha$. Сторона AB $= a$, а сторона AR, которую обозначимъ m , изъ треугольника ABR будетъ равна $a \cdot \sin \alpha$. Но m выражаетъ намъ величину перемѣщенія камня *параллельно берегу подъ дѣйствіемъ одной волны и*

эта величина оказывается равной произведенію изъ величины перемѣщенія камня къ берегу на синусъ угла, образуемаго гребнемъ волны и береговой линіей. Итакъ

$$m = a. \sin \alpha.$$

Слѣдующая волна снова подхватываетъ камень и переноситъ его въ точку D, опять по направленію своего движенія, на разстояніе a_1 отъ C; при отливѣ волны камень скатится въ точку E на разстояніе b_1 отъ D и т. д. Такъ какъ мы принимаемъ направленіе волнъ относительно берега за величину постоянную во время нашего опыта, то понятно, что уголъ CDE также будетъ $= \alpha$; величину же перемѣщенія параллельно берегу при второй волнѣ m_1 мы найдемъ, опустивши перпендикуляръ изъ точки C на продолженіе линіи DE; а такъ какъ $CD = a_1$, то

$$m_1 = a_1. \sin \alpha.$$

Разсуждая такимъ же образомъ относительно дальнѣйшихъ волнъ, перемѣщающихъ камень послѣдовательно въ F, G, H, I, K, L и т. д., мы увидимъ, что конечная величина перемѣщенія камня параллельно берегу при его движеніяхъ черезъ всѣ точки зигзагообразной линіи отъ A до L будетъ равна суммѣ величинъ перемѣщенія при каждой отдѣльной волнѣ, т. е.

$$M = m + m_1 + m_2 + m_3 + m_4.$$

Подставляя въ это уравненіе вмѣсто m , m_1 и т. д. соотвѣтствующія имъ величины $a. \sin \alpha$, $a_1. \sin \alpha$ и т. д. получимъ

$$M = a. \sin \alpha + a_1. \sin \alpha + a_2. \sin \alpha + a_3. \sin \alpha + a_4. \sin \alpha$$

и отсюда

$$M = \sin \alpha (a + a_1 + a_2 + a_3 + a_4).$$

Изъ этого уравненія видно, что величина перемѣщенія камня параллельно берегу зависитъ только отъ двухъ факторовъ: во-первыхъ отъ величины угла α , образуемаго гребнемъ волнъ съ линіей берега т. е. отъ направленія вѣтра и, во-вторыхъ, отъ суммы величинъ перемѣщенія камня отдѣльными волнами по направленію къ берегу; эти же величины a , a_1 и т. д. зависятъ, конечно, отъ силы отдѣльныхъ волнъ, т. е. отъ силы вѣтра, предполагая, что на пути камня нѣтъ препятствій для его свободного движенія и что уклонъ пляжа вездѣ одинаковъ.

Величины b , b_1 , b_2 и т. д., выражающія движеніе камня подвліяніемъ отливающей воды волнъ по направленію, перпендикулярному къ

береговой линіи, въ наше уравненіе не входятъ и, слѣдовательно, какъ будто не оказываютъ вліянія на перемѣщеніе параллельно берегу. Но въ дѣйствительности онѣ имѣютъ такое вліяніе, такъ какъ отъ нихъ зависитъ въ извѣстной степени величина a , a_1 , a_2 и т. д.; но это вліяніе трудно поддается учету; такъ, напр., перемѣщеніе камня подъ воздѣйствіемъ отливающей волны часто еще не окончилось, когда камень уже подхватывается новой наступающей волной. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ это вліяніе можетъ сказаться очень сильно; допустимъ, напр. (фиг. 2), что подъ вліяніемъ двухъ слабыхъ волнъ камень перемѣстился изъ А въ Е, гдѣ его подхватываетъ болѣе сильная волна; послѣдняя могла бы, по своей силѣ, перекатить его въ точку F, но этому мѣшаетъ береговой обрывъ NO и камень доходитъ только до его подножія въ G, потерявъ такимъ образомъ разстояніе GF и соотвѣтствующее ему перемѣщеніе параллельно берегу.

При различномъ уклонѣ различныхъ частей пляжа въ наше уравненіе пришлось бы еще ввести величину угла этого уклона β , такъ какъ отъ нея, конечно, зависитъ величина перемѣщенія a ; чѣмъ β больше, тѣмъ a будетъ меньше, такъ какъ тѣмъ больше вѣсъ камня будетъ противодѣйствовать силѣ волны. Но введеніе этого фактора значительно усложнило бы наше уравненіе и не входитъ въ задачи нашей замѣтки. Намъ достаточно констатировать слѣдующее: *перемѣщеніе валуновъ, гальки, гравія и крупнаго песка параллельно берегу:*

- 1) обусловлено волнами, набѣгающими подъ косымъ угломъ;
- 2) происходитъ по зигзагообразной линіи, слагающейся изъ частей попеременно перпендикулярныхъ гребню волны и береговой линіи;
- 3) величина этого перемѣщенія зависитъ:
 - a) отъ величины угла, образуемаго волнами съ береговой линіей, т. е. отъ направленія вѣтра;
 - b) отъ силы отдѣльныхъ волнъ, т. е. отъ силы вѣтра;
 - c) отъ угла уклона части пляжа, по которой происходитъ это перемѣщеніе.

При измѣненіи угла α , т. е. направленія вѣтра, наше уравненіе приметъ общій видъ:

$$M = \sin \alpha (a + a_1 + a_2 + \dots a_n) + \sin \alpha_1 (a^1 + a_1^1 + a_2^1 + \dots a_n^1) + \\ + \sin \alpha_2 (a^{11} + a_1^{11} + a_2^{11} + \dots a_n^{11}) \dots + \sin \alpha_x (a^x + a_1^x + a_2^x \dots a_n^x).$$

Величины отдѣльныхъ членовъ правой части этого уравненія могутъ быть больше или меньше въ зависимости отъ продолжительности вѣтра одного и того же направленія и отъ его силы; при очень небольшой величинѣ угла α или при очень слабой силѣ вѣтра отдѣль-

ные члены могутъ быть близкими къ нулю, т. е. по временамъ перемѣщеніе матеріала вдоль берега можетъ почти прекращаться.

Насколько велико, теоретически, можетъ быть это перемѣщеніе, показываетъ численный примѣръ; пусть $\angle \alpha = 30^\circ$, а величины a_1, a_2, a_3, a_4 равны 3, 5, 4, 6 и 7 арш., тогда

$$M = \sin 30^\circ (3 + 5 + 4 + 6 + 7) = \sin 30^\circ \cdot 25 = \frac{1}{2} \cdot 25 = 12\frac{1}{2} \text{ арш.},$$

т. е. подъ вліяніемъ всего пяти волнъ камень передвинется на $12\frac{1}{2}$ арш. вдоль берега.

Если принять соответственные величины $b_1, \dots, b_4$ равными 5, 3, 5, 6 и 4 арш., то полный путь, пройденный камнемъ подъ вліяніемъ этихъ пяти волнъ по зигзагообразной линіи окажется равнымъ $25 + 23 = 48$ арш., т. е. почти въ четыре раза больше его перемѣщенія параллельно берегу.

Если волны будутъ идти подъ угломъ 45° къ берегу, то, принимая прежнія величины для $a_1, \dots, a_4$, мы получимъ

$$M = \sin 45^\circ \cdot 25 = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot 25 = 0,71 \cdot 25 = 17,75 \text{ арш.}$$

При величинѣ $\alpha = 60^\circ$, получимъ $M = 21,75$ арш. и наконецъ при величинѣ $\alpha = 90^\circ$, т. е. если волны движутся параллельно береговой линіи, $M = 25$ арш. т. е. теоретически перемѣщеніе матеріала вдоль берега, при прочихъ равныхъ условіяхъ, должно быть наибольшимъ въ случаѣ волнъ, гребни которыхъ перпендикулярны къ береговой линіи.

Въ дѣйствительности же волны, идущія въ открытомъ морѣ перпендикулярно къ береговой линіи, на пляжѣ всегда оказываются косыми, такъ какъ благодаря тренію нижнихъ слоевъ воды о поверхность затопляемой части береговой зоны, участки этихъ волнъ, ближайшіе къ берегу, отстаютъ въ своемъ движеніи и гребень волны превращается въ кривую, выпуклую въ сторону берега (фиг. 3). Слѣдовательно тѣ части волнъ, которыя образуютъ береговой прибой и обусловливаютъ механическую работу на пляжѣ, всегда будутъ направлены подъ угломъ α , меньшимъ, чѣмъ 90° и, вѣроятно, даже меньшимъ чѣмъ 60° .

Теоретическія разсужденія наши о движеніи матеріала вдоль берега, конечно, подлежатъ многочисленнымъ практическимъ поправкамъ.

Пляжъ, на которомъ разбиваются волны, не представляетъ ровной поверхности безъ препятствій, а состоитъ изъ того же болѣе или менѣе грубаго матеріала—валуновъ, гальки, гравія; поэтому движеніе каждаго камня въ отдѣльности далеко не свободно. И, дѣйствительно,

мы можемъ наблюдать, что подъ воздѣйствіемъ волны перемѣщается далеко не весь матеріалъ даннаго участка пляжа, а только часть его; движенію остальной части мѣшаютъ разныя препятствія. Кромѣ того движеніе каждаго отдѣльнаго камня происходитъ съ перерывами, часто очень продолжительными; напримѣръ, послѣ нѣсколькихъ передвиженій назадъ и впередъ камень закатится въ небольшую впадину или заклинится между двумя другими болѣе крупными и т. п., такъ что цѣлые десятки волнъ могутъ пройти черезъ него, не двигая его съ мѣста; потомъ набѣжитъ болѣе сильная волна и камень снова начинаетъ двигаться.

Такъ, напр., изъ 15 кирпичныхъ галекъ, за которыми я прослѣдилъ въ теченіе четверти часа, три были унесены первой же волной въглубь и вышли изъ района наблюденія; пять перемѣстились за это время на небольшое разстояніе параллельно берегу, именно отъ 3 до 10 шаговъ; четыре прошли отъ 11 до 20 шаговъ и только три отъ 25 до 40 шаговъ. Уголъ α при этихъ наблюденіяхъ былъ около 30° , число волнъ въ минуту въ среднемъ 12, величина a при свободномъ движеніи камня 3—5 арш. и слѣдовательно за 15 минутъ камни должны были бы пройти $\frac{15 \cdot 12 \cdot 4}{2} = 360$ арш. (принимая a въ среднемъ 4 арш.), тогда какъ въ дѣйствительности немногіе (20%) изъ нихъ прошли въ 9—14 разъ меньше, а остальные въ 18—120 разъ меньше.

Тѣмъ не менѣе въ теченіе продолжительнаго промежутка времени перемѣщеніе матеріала вдоль берега несомнѣнно должно достигать большихъ величинъ и имѣть, слѣдовательно, большое значеніе для образованія прибрежныхъ отложений. Поэтому можно удивляться, что этотъ вопросъ до сихъ поръ такъ мало разработанъ въ геологической литературѣ и всѣ руководства повторяютъ только фразу о разложеніи силы косой волны на двѣ слагающія. Даже Рихтгофенъ, посвятившій много вниманія вопросу о работѣ волнъ морского прибоя, говоритъ только, что при косой волнѣ каждый камень получаетъ, одновременно съ ударомъ, стремящимся передвинуть его къ берегу, второй ударъ, боковой*); такимъ образомъ онъ рисуетъ себѣ способъ перемѣщенія камня, совершенно несогласный съ дѣйствительностью.

Быстрота и направленіе перемѣщенія матеріала параллельно берегу, а также количество перемѣщаемого матеріала, конечно, зависятъ отъ преобладанія тѣхъ или другихъ вѣтровъ у даннаго берега. Полное отсутствіе такого перемѣщенія мы можемъ представить себѣ только на такомъ берегу, гдѣ дуютъ исключительно вѣтры, перпенди-

*) F. v. Richthofen. Führer für Forschungsreisende, стр. 346.

кулярные къ направленію берега (или же вѣтры со стороны суши, которые не могутъ разводитъ большое волненіе у берега и такимъ образомъ не оказываютъ вліянія на то или другое перемѣщеніе матеріала). Но если хоть нѣсколько разъ въ году дуютъ вѣтры косые или параллельные берегу, то неминуемо должно происходить и соответственное перемѣщеніе матеріала; чѣмъ больше такихъ вѣтровъ и чѣмъ они сильнѣе, тѣмъ это перемѣщеніе будетъ болѣе значительнымъ и тѣмъ большія массы матеріала будутъ перемѣщаться. При этомъ частые, но болѣе слабые косые вѣтры должны оказывать меньшее вліяніе, чѣмъ болѣе рѣдкіе, но сильные.

Остается еще вкратцѣ разсмотрѣть вопросъ, какое вліяніе оказываетъ измѣненіе направленія береговой линіи на перемѣщеніе матеріала.

Можно предположить, что мысы, выдающіеся далеко въ море, должны совершенно останавливать перемѣщеніе. Въ дѣйствительности это справедливо далеко не во всѣхъ случаяхъ. Представимъ себѣ (фиг. 4) берегъ съ сильно выдающимся мысомъ BCD; пусть въ данной мѣстности дуютъ, смѣняя другъ друга, морскіе вѣтры трехъ направленій, показанные стрѣлками *a*, *b*, *c*. На береговомъ участкѣ АВ косые вѣтры *a* и *b* будутъ производить перемѣщеніе матеріала параллельно берегу отъ А къ В, прямой же вѣтеръ *c* въ этой работѣ участвовать не будетъ. Но, начиная отъ В на участкѣ ВС роль вѣтровъ отчасти перемѣняется: *b* становится прямымъ и перестаетъ принимать участіе въ перемѣщеніи матеріала вдоль берега; *a* остается косымъ (или, вѣрнѣе, становится изъ параллельнаго косымъ) и продолжаетъ перемѣщать матеріалъ отъ В къ С; *c* изъ прямого дѣлается косымъ, но такъ какъ онъ дуетъ отъ С къ В, то производимое имъ перемѣщеніе должно быть противоположно перемѣщенію, обусловленному вѣтромъ *a*, т. е. матеріалъ, передвинутый вѣтромъ *a* отъ В къ С, долженъ перемѣщаться отъ С къ В подъ воздѣйствіемъ вѣтра *c*. Если вѣтеръ *c* сильнѣе *a* или при болѣе или менѣе одинаковой силѣ съ *a* дуетъ чаще послѣдняго, то въ конечномъ результатѣ перемѣщеніе матеріала отъ В къ С не произойдетъ, а въ В будетъ скопляться большое количество матеріала, надвигающагося съ одной стороны отъ А, съ другой отъ С; поэтому бухта у В будетъ постепенно засыпаться и вмѣсто входящаго угла скоро получится кривая (показанная на фиг. 4 пунктиромъ). Если же преобладающимъ будетъ вѣтеръ *a*, то, несмотря на задерживающее вліяніе вѣтра *c*, матеріалъ будетъ перемѣщаться отъ В къ С, но съ замедленной скоростью и въ умень-

шенномъ количествѣ; бухта В и въ этомъ случаѣ будетъ постепенно засыпаться, но съ меньшей быстротой.

Въ пунктѣ С роль вѣтровъ для участка CD опять мѣняется; *a* и *b*, какъ дующіе здѣсь отъ суши къ морю, не будутъ имѣть существеннаго вліянія на перемѣщеніе матеріала; но *c*, являющійся косымъ, обусловитъ передвиженіе отъ С къ D какъ матеріала, обогнувшего оконечность мыса, такъ и образующагося на самомъ участкѣ CD.

Въ D мы находимъ новую перемѣну ролей; *c* становится прямымъ и будетъ только способствовать накопленію матеріала въ D; *a* и *b*, хотя и косые, но какъ дующіе еще съ суши, въ D не могутъ еще оказывать замѣтнаго вліянія и въ результатѣ въ D во всякомъ случаѣ должно получиться обмелѣніе бухты и превращеніе входяшаго угла въ дугу. Но, передвигаясь отъ D къ E, мы найдемъ, что роль вѣтровъ *a* и *b* будетъ все болѣе усиливаться, такъ какъ вліяніе мыса на разводимую ими волну будетъ все болѣе ослабѣвать, такъ что, чѣмъ ближе къ E, тѣмъ большее количество матеріала будетъ перемѣщаться вдоль берега, пока мы не получимъ условій, тождественныхъ съ условіями пункта А.

Изъ этого примѣра ясно, что выдающіеся въ море мысы должны, въ зависимости отъ преобладанія тѣхъ или другихъ вѣтровъ, или играть роль барьера, препятствующаго дальнѣйшему перемѣщенію матеріала вдоль берега и обусловливающаго его скопленіе въ обѣихъ бухтахъ у основанія мыса; или же только замедлять перемѣщеніе матеріала вдоль берега, также обусловливая засореніе бухтъ, но болѣе медленное.

Разсмотримъ еще противоположный случай, когда береговая линія образуетъ глубокую бухту BCD (фиг. 5). Предполагая наличность тѣхъ же трехъ вѣтровъ *a*, *b*, *c*, мы найдемъ перемѣщеніе матеріала отъ А къ В подъ воздѣйствіемъ вѣтровъ *a* и *b*; на участкѣ BC *a* теряетъ значеніе, какъ дующій съ суши, а *b* и *c* будутъ производить перемѣщеніе матеріала отъ В къ С. Въ пунктѣ С вѣтеръ *a* по прежнему значенія не имѣетъ, *c* становится прямымъ а *b* почти прямымъ и поэтому должно происходить накопленіе матеріала и постепенное засореніе бухты; на участкѣ CD *b* становится прямымъ, а постепенно, по мѣрѣ приближенія къ D, усиливаетъ свое вліяніе и перемѣщаетъ все большее количество матеріала отъ С къ D; но *c* противодействуетъ ему и, какъ дующій съ открытаго моря (тогда какъ *a* съ суши черезъ бухту), производитъ болѣе сильную волну, перемѣщая матеріалъ отъ D къ С. Въ результатѣ, если только *a* не преобладаетъ значительно надъ *c* по силѣ и частотѣ, на участкѣ CD должно происходить перемѣщеніе матеріала отъ D къ С и засореніе бухты и съ этой стороны. Наконецъ на участкѣ DE происходитъ перемѣщеніе отъ D къ E.

Такимъ образомъ глубокая бухта является, при той же комбинаціи вѣтровъ, болѣе серьезнымъ барьеромъ, чѣмъ мысъ, и прерываетъ передвиженіе матеріаловъ вдоль берега, поглощая этотъ матеріалъ; но благодаря этому поглощенію ея роль является только временной. Когда бухта обмелѣетъ и сократится (фиг. 6), она потеряетъ свое значеніе; волны моря, встрѣчаясь съ болѣе спокойными водами мелкой бухты, въ значительной степени теряютъ свою силу и въ бухтѣ волненіе будетъ слабое; поэтому въ пунктѣ В изъ матеріала, передвигаемаго отъ А къ В, начнетъ воздвигаться коса по направленію къ D, постепенно отрѣзающая бухту отъ моря; этотъ процессъ образованія косъ (пересыпей, стрѣлокъ) поперекъ устья неглубокихъ заливовъ давно извѣстенъ и рассматривается во всѣхъ руководствахъ, такъ что мы не будемъ останавливаться на немъ. Эта коса со временемъ дойдетъ до D и совершенно отрѣжетъ бухту, превративъ ее въ озеро; если въ бухту впадаетъ какая нибудь рѣчка, то стокъ воды въ море будетъ бороться съ полнымъ отрѣзаніемъ бухты, постоянно размывая косу на нѣкоторомъ протяженіи; но и въ этомъ случаѣ передвиженіе матеріала далѣе вдоль берега не остановится, а только будетъ замедляться въ мѣстѣ перерыва косы.

Слѣдовательно, и глубокія бухты въ концѣ концовъ являются только временнымъ препятствіемъ для перемѣщенія матеріала вдоль берега и, превратившись затѣмъ въ мелкія, только нѣсколько замедляютъ это перемѣщеніе, пока не засорятся окончательно.

Попытаемся теперь приложить вышесказанное къ южному берегу Крыма, чтобы выяснить, въ какомъ направленіи матеріалъ долженъ перемѣщаться. Этотъ берегъ отъ Алушки до Феодосіи имѣетъ въ общемъ направленіе отъ юго-запада на сѣверо-востокъ (фиг. 7). По даннымъ Ганна*) въ Крыму мы имѣемъ слѣдующее распредѣленіе вѣтровъ по румбамъ въ процентахъ:

	N	NO	O	SO	S	SW	W	NW
Лѣто	5	8	25	13	7	13	21	8 %
Зима	11	18	25	11	7	9	11	8 %

Вѣтры N, NW и W для южнаго берега Крыма дуютъ съ суши и, слѣдовательно, не играютъ роли въ перемѣщеніи матеріала; вѣтеръ SO направленъ въ общемъ перпендикулярно къ береговой линіи, такъ что можетъ обуславливать перемѣщеніе матеріала только на отдѣльныхъ участкахъ—въ бухтахъ и на мысахъ; поэтому мы можемъ исключить и его изъ нашего разсмотрѣнія. Изъ остающихся вѣтровъ—косыхъ и параллельныхъ берегу—S и SW должны производить перемѣ-

*) I. Hann. Handbuch der Klimatologie. Bd. III, стр. 206, Stuttgart, 1897.

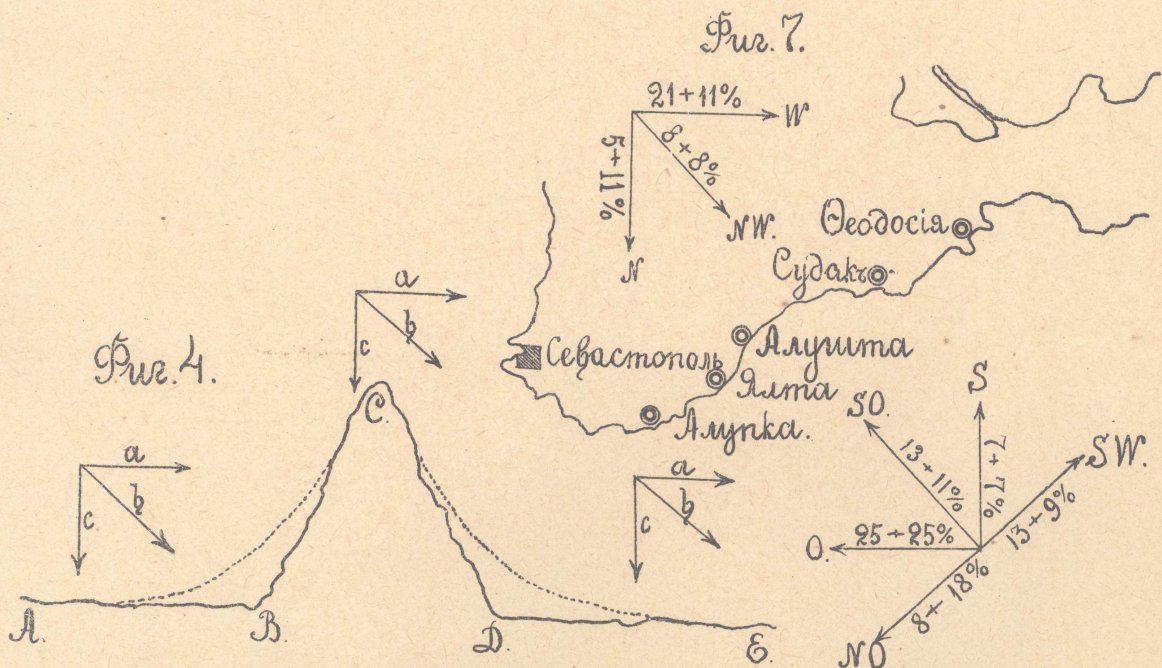
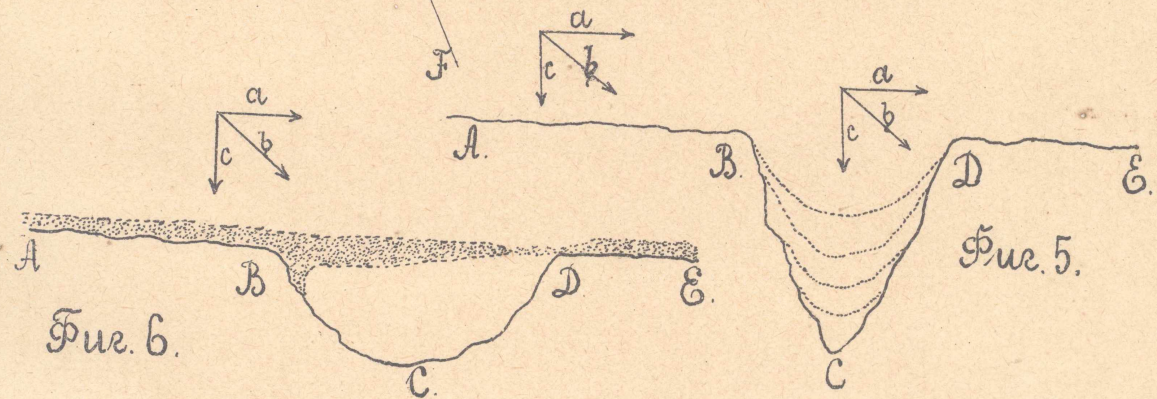
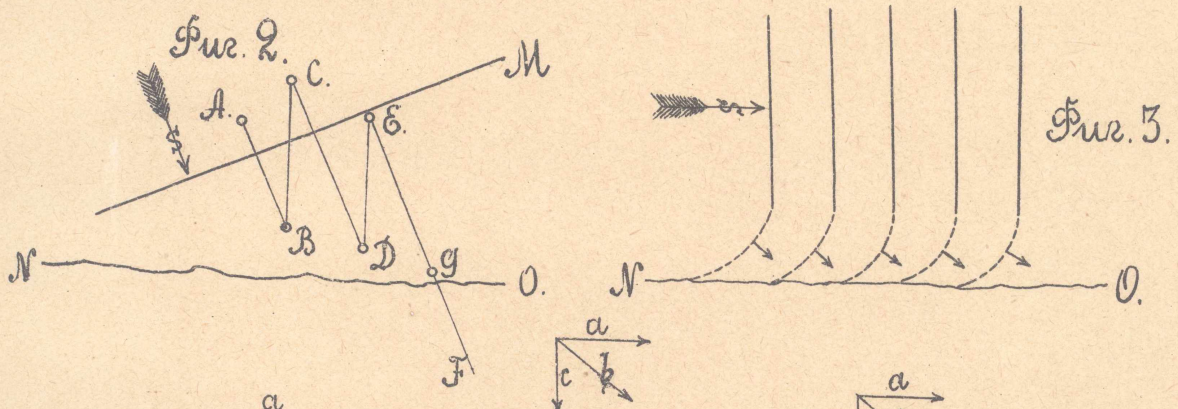
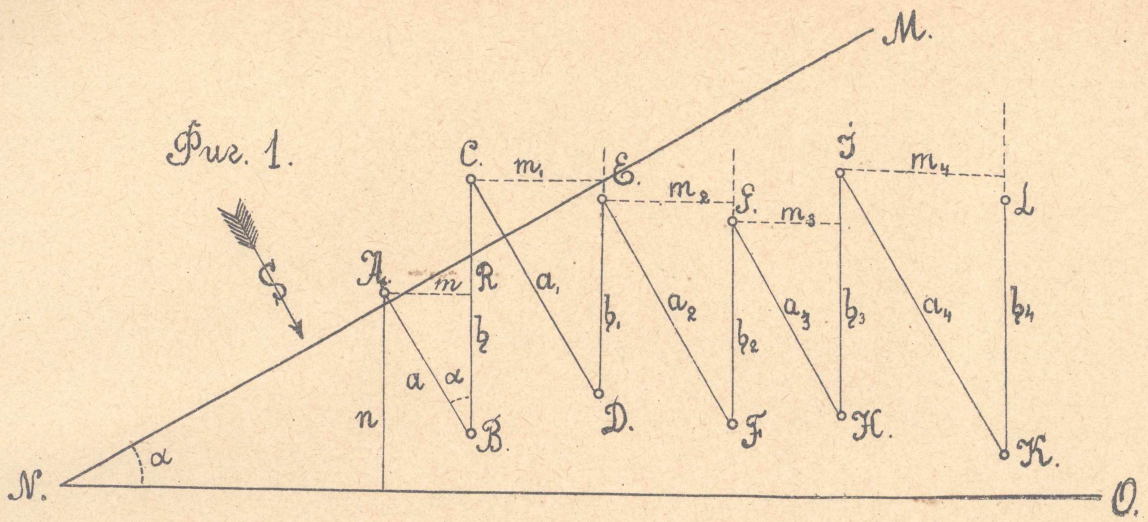
щеніе матеріала съ юго-запада на сѣверо-востокъ, т. е. отъ Алупки къ Θεодосіи, а NO и O—обратно, отъ Θεодосіи къ Алупкѣ; но первые два вѣтра даютъ лѣтомъ 20%, зимой 16% всей суммы вѣтровъ, а вторые лѣтомъ 33%, зимой даже 43%, т. е. NO и O дуютъ лѣтомъ въ 1,65 разъ, а зимой въ 2,7 разъ чаще чѣмъ S и SW и вмѣстѣ съ тѣмъ отличаются и большей силой. Слѣдовательно, перемѣщеніе матеріала въ конечномъ результатѣ должно происходить отъ Θεодосіи къ Алупкѣ и поэтому вполне естественно, что среди валуновъ пляжа въ Алуштѣ и Ялтѣ мы находимъ кристаллическія породы, залегающія восточнѣе, напр.: въ Алуштѣ—мелафиры, дациты, андезиты и ихъ туфы обнажающіеся въ береговыхъ обрывахъ Карадага (между Θεодосіей и Судакомъ), и кератофиръ Кучукъ-узенья, а въ Ялтѣ—также кварцево-авгитовые діориты и порфириды горъ Кастель и Аю-дагъ, кератофиръ Ай-даниль.

Настоящая замѣтка была уже составлена, когда я нашелъ въ Comptes Rendus небольшую статью Thoulet*), рассматривающую тотъ же вопросъ о перемѣщеніи матеріала вдоль берега и служащую отвѣтомъ на вышеуказанную статью Bréon. Авторъ также приходитъ къ выводу, что подъ вліяніемъ косыхъ волнъ матеріалъ перемѣщается параллельно берегу по зигзагообразной линіи, напоминающей зубья пилы. По вычисленіямъ Thoulet на берегахъ сѣверной Франціи при 12—18 волнахъ въ минуту перемѣщеніе параллельно берегу достигаетъ не болѣе 1 см. для каждой волны; принимая въ соображеніе чередованіе вѣтровъ, онъ находитъ, что каждая песчинка, для того, чтобы передвинуться на какое либо разстояніе вдоль берега, должна совершить путь минимумъ въ 8000 разъ болѣе длинный при своихъ перекачиваніяхъ взадъ и впередъ. Авторъ говоритъ, что въ Ламаншѣ перемѣщеніе происходитъ съ W на O и что песокъ изъ матеріала кристаллическихъ породъ Бретани, нахожденіе котораго въ Беркѣ для Bréon'a оставалось загадочнымъ, принесенъ именно съ W, т. е. изъ Бретани, постепеннымъ перемѣщеніемъ вдоль берега, не взирая на всѣ изгибы послѣдняго.

Но такъ какъ въ статьѣ Thoulet, объемомъ всего въ 2 страницы, способъ передвиженія матеріала параллельно берегу рассматривается слишкомъ кратко, то я полагаю, что моя замѣтка и послѣ появленія этой статьи сохраняетъ свое значеніе для разъясненія вопроса.

г. Томскъ
19 февраля 1908 г.

*) Sur la marche des sables le long des rivages. C. R. CXLIV 1907 г., стр. 938—940



Къ старому В. А. Одыреба.