

# ТРАНСФОРМАЦИЯ СТОКА НАНОСОВ НА ВОДОСБОРАХ МАЛЫХ РЕК ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ СССР

*В. Н. Голосов, Н. Н. Иванова, Л. Ф. Литвин,  
А. Ю. Сидорчук, А. В. Чернов*

МГУ



На речных водосборах умеренного климатического пояса, находящихся в естественном состоянии, можно выделить территории с различной направленностью и интенсивностью эрозионно-аккумулятивных процессов: 1) междуречья (плакоры и склоны) со слабым проявлением водной эрозии и аккумуляции, накоплением продуктов дефляции и почвообразовательными процессами; 2) ложбинно-балочная сеть со слабым преобладанием эрозии над аккумуляцией; 3) сеть малых и средних рек, к которой приурочена зона максимального вреза продольных профилей рек и где эрозия существенно преобладает над аккумуляцией; 4) крупные реки, осуществляющие в основном транзит наносов; 5) речные дельты с преобладанием процессов аккумуляции.

На европейской части СССР такая схема сохраняется для водосборов рек северного мегасклона, где относительно меньше проявилось антропогенное воздействие на эрозионно-аккумулятивные процессы. На водосборах рек южного мегасклона (Волги, Дона, Днепра, Днестра и пр.) в результате сведения лесов, неумеренной и неграмотной в почвозащитном отношении распашки междуречий (в том числе крутых склонов и присетевых участков) и пойменных земель нарушился естественный ход эрозионно-аккумулятивных процессов. Максимум эрозионных процессов здесь приходится на склоны междуречий и ложбинную сеть, где происходит интенсивный смыв почв, формирование и рост оврагов. На основе карты «Эрозионная опасность сельскохозяйственных земель европейской части СССР» [9] для пахотных земель южного мегасклона этой части (с учетом изменения их площади по [17] и характера землепользования) рассчитаны объем и мощность смыва почв за период интенсивного сельскохозяйственного освоения с конца XVII в. По данным уточненных карт густоты и плотности оврагов СССР [6] проведена оценка объема овражной эрозии. В целом объем эрозии на южном мегасклоне европейской части СССР за последние 300 лет составил около 100 млрд м<sup>3</sup>. При этом на 82,2 % пашни слой смыва меньше 10 см, на 11,2 % — 10—20 см, на 5,3 % — 20—40 см и на 1,3 % — больше 40 см. Сформировалось около 2 млн оврагов длиной меньше 300 м с общим объемом эрозии 4 млрд м<sup>3</sup>. Весь этот гигантский объем материала поступил в гидрографическую сеть. Однако распределение его по долинам малых, средних и крупных рек было неодинаковым.

Сотрудниками Проблемной лаборатории эрозии почв и русловых процессов М. В. Веретенниковой и др. проведен комплекс методов по исследованию баланса наносов на водосборах самых ма-

рых рек и ручьев в бассейнах рек Протвы, Ведуги, Колышлея и Калауса.

Расходными статьями баланса являются смыв со склонов, размыв в ложбинах и овражные выносы. Смыв почв со склонов определялся тремя способами: 1) по степени фактического сокращения мощности почв различных генетических типов по сравнению с эталонами; 2) расчетом по уравнению почвенной эрозии [10], модифицированному для учета формы склона [8] для смыва ливневыми осадками, и по методике ГТИ [1] для смыва талыми водами; 3) по соотношению содержания изотопа  $^{137}\text{Cs}$  в смытых и эталонных почвах. Размыв почв по ложбинам оценивался по сокращению здесь мощности гумусового горизонта по сравнению с фоновым на соседних склонах. Объемы овражного выноса определялись на основе длин оврагов, снятых с крупномасштабных топографических карт, по зависимостям между морфометрическими показателями (длины, ширины, глубины) оврагов различных морфогенетических типов, полученных при полевых исследованиях.

Приходная статья баланса наносов складывается из объемов аккумуляции в балках и долинах малых рек. Объем отложений в балках определялся двумя методами: 1) бурением балочного аллювия по поперечным к оси долины профилям и выделением части наносов, отложившихся за период сельскохозяйственного освоения (по началу появления в спорово-пыльцевых спектрах пыльцы культурных злаков и гречихи или по появлению гумусированных горизонтов); 2) сравнением современных отметок днищ балок с отметками выработанного продольного профиля [4]. Объем отложений в долинах малых рек определялся по данным бурения и определения мощности отложений агрикультурного периода по данным спорово-пыльцевого анализа и/или изменению гумусированности наносов. Результаты этих исследований сведены в таблицу.

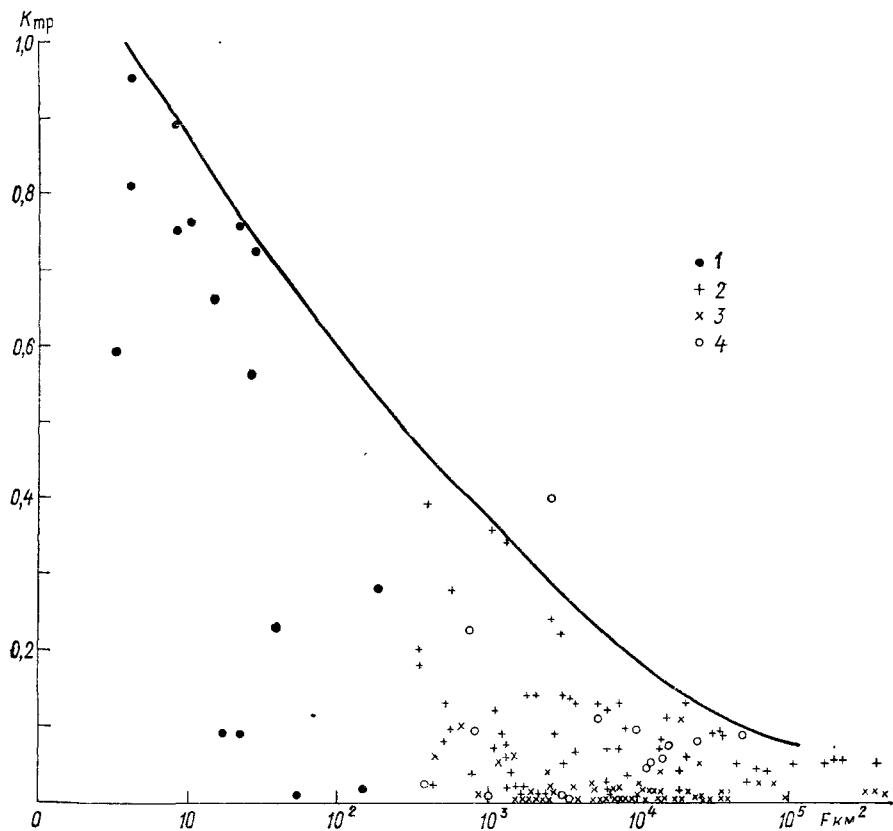
Значимой характеристикой направленности эрозионно-аккумулятивного процесса на водосборе является коэффициент трансформации наносов  $K_{\text{тр}}$ , равный отношению объема выноса материала с водосбора через замыкающий створ к объему эрозии на водосборе за одно и то же время. Анализ таблицы, а также данных ряда исследователей [2, 5, 10—12, 15, 16, 18] по современному балансу наносов на самых малых водосборах (см. рисунок), показывает, что  $K_{\text{тр}}$  варьирует здесь в широких пределах: 0,0—1,0. Хотя ограниченность информации очевидна, тем не менее эти данные позволяют сделать вывод об отсутствии влияния географической зональности на эрозионно-аккумулятивные процессы на речных водосборах площадью 100—150 км<sup>2</sup> и меньше. Местные геолого-геоморфологические и почвенные условия и характер землепользования более значимы, чем естественные ландшафтные зоны. Даже в пределах одного водосбора  $K_{\text{тр}}$  варьирует в самых широких пределах, и в соседних балках смытый со склонов материал может или практически полностью выноситься в реку, или в значительной мере аккумулялироваться на дне балки.

**Баланс наносов на малых водосборах в лесной, лесостепной и степной зонах европейской части СССР за период интенсивного сельскохозяйственного освоения, тыс. м<sup>3</sup>**

Название водотока	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Объем			Аккумуляция		K <sub>тр</sub>
		смыва со склонов	размыва в ложбинах	выноса из оврагов	в балках	в долинах малых рек	
<b>Лесная зона</b>							
б. Язвица (бас. р. Протвы)	3,22	50,0	—	35,0	35,0	—	0,59
<b>Лесостепная зона</b>							
б. Лог Репный руч. Ведуга (бас. р. Ведуги)	3,5 86,9	320 3 940	— —	1 180 3 740	260 4 320	— 3 540	0,83 0,0
б. Ржавец	18,0	3 330	245	250	3 490	—	0,09
б. Ключи	8,0	1 670	185	2 150	430	—	0,89
б. Старая Ивановка р. Песчанка (без б. Ключи)	23,0 29,4	1 600 4 220	59 497	490 1 540	510 —	— 1 760	0,76 0,72
р. Малый Колышлей (бас. р. Колышлей)	181,5	17 600	1 220	5 430	4 430	13 100	0,28
<b>Степная зона</b>							
руч. Марков (бас. р. Дона)	142,3	9 100	—	7 990	7 600	9 180	0,02
б. Швединка	26,2	130	750	—	40	—	0,95
б. Яр Глубокий	4,2	260	600	—	10	—	0,99
б. Сухой Яр	11,1	290	1 840	—	280	—	0,87
б. Терновая	8,5	420	3 050	—	10	—	0,997
б. Юсуп (бас. р. Ка-лаус)	55,4	1 900	3 000	—	420	—	0,93

Для определения объемов и модулей стока наносов со склонов водосборов площадью более 300 км<sup>2</sup> использована карта «Эрозионно опасные земли европейской части СССР» в масштабе 1 : 1 500 000. На карте отражена средняя за последние 30 лет расчетная интенсивность смыва почв для крупных массивов сельскохозяйственных земель. Для каждого речного водосбора с замыкающим створом, входящим в гидрометеорологическую сеть постов, по карте определялась площадь ареалов с той или иной интенсивностью смыва и рассчитывался объем годового стока наносов. В этих же створах по данным гидрометеослужбы за период не менее 6 лет рассчитывался годовой сток наносов и определялся их коэффициент трансформации K<sub>тр</sub>. На рисунке верхняя огибающая поля точек связи K<sub>тр</sub> с площадью водосборов рек бассейнов Днестра, Днепра и Дона описывает экспоненциальное уменьшение K<sub>тр</sub> с увеличением площади водосбора. Для водосбора площадью 100—1000 км<sup>2</sup> для 94 % всех водосборов K<sub>тр</sub> < 0,3, а для 53 % K<sub>тр</sub> < 0,1. В диапазоне площадей 1000—10 000 км<sup>2</sup> для 92 % всех

водосборов  $K_{тр} < 0,2$ , а для 80 %  $K_{тр} < 0,1$ . Для водосборов с площадью 10 000—100 000 км<sup>2</sup> в 94 % случаев  $K_{тр} < 0,1$ , а для более крупных  $K_{тр} \leq 0,06$ . И если исходить из оценки объема эрозии на южном мегасклоне европейской части СССР в 100 млрд м<sup>3</sup> за 300 лет, то за пределы гидрографической сети вынесено как максимум 6 млрд м<sup>3</sup> материала, 1,2 млрд м<sup>3</sup> отложилось в руслах и на поймах рек ниже створов, где площади их водосборов достигли



Зависимость коэффициента трансформации стока наносов  $K_{тр}$  от площади водосбора реки.

1—самые малые реки; 2—р. Дон; 3—р. Днепр; 4—р. Днестр.

10 000 км<sup>2</sup>, 6 млрд м<sup>3</sup> отложилось в руслах и на поймах рек ниже створов, где площади водосборов достигли 1000 км<sup>2</sup> (но не более 10 000 км<sup>2</sup>). В руслах и на поймах рек площадью водосбора менее 100 км<sup>2</sup> отложилось около 40 млрд м<sup>3</sup> наносов (это значение наименее обосновано, так как в этой области имеется лишь 20 значений  $K_{тр}$ , а изменчивость коэффициента здесь наибольшая). Соответственно в руслах и на поймах рек площадью водосбора 100—1000 км<sup>2</sup> отложилось за 300 лет около 46 млрд м<sup>3</sup> наносов. По данным работы [13] рассчитана площадь водного зеркала водотоков

(при средних максимальных расходах воды) в бассейнах Волги, Днепра, Дона и Днестра: при площади водосбора до  $100 \text{ км}^2$  площадь зеркала составила  $13 \cdot 10^9 \text{ м}^2$ ; при  $100\text{—}1000 \text{ км}^2$  —  $13 \cdot 10^9 \text{ м}^2$ ; при  $1000\text{—}10\,000 \text{ км}^2$  — около  $23 \cdot 10^9 \text{ м}^2$  и при площади  $10\,000 \text{ км}^2$  — около  $59 \cdot 10^9 \text{ м}^2$ . Соответственно средний слой аккумуляции в руслах и на поймах самых малых рек и ручьев составил за период интенсивного сельскохозяйственного освоения около 3 м, в малых реках — около 3,5 м, в средних реках — около 0,3 м и в крупных реках — около 0,02 м. Максимум антропогенной аккумуляции наносов приходится на самые малые и, особенно, малые реки. Подобная ситуация и породила проблему малых рек, что неоднократно отмечалось многими авторами. Для Среднего Поволжья мощность гумусированных илистых отложений на поймах (перекрывающих погребенные почвы) составляет 2,0—2,5 м за агрикультурный период (200—300 лет) [3]. В днищах балок Брянской возвышенности за последние 40 лет отложилось 20—150 см наносов, перекрывающих плодородные дерновые почвы [19]. Русла рек Оки у г. Орла и Зуши у г. Мценска поднимаются на 1,5—2,0 см в год [13]. Русловой аллювий здесь сильно заилен и гумусирован. В бассейне р. Золотая Липа (Западная Подолия) за последние 200 лет суммарное сокращение длины водотоков составило 16,6 % [5]. Протяженность речной сети в бассейне р. Оскол по сравнению с XVII в. уменьшилась вдвое [7]. В южной части Приволжской возвышенности (бассейны рек Хопра и Медведицы) за последние 150 лет речная сеть сократилась в среднем на 34 %.

Соотношение эрозионно-аккумулятивных процессов связано с водностью рек, их энергетическим потенциалом и степенью антропогенного воздействия. Чем меньше водность реки, тем большее влияние на нее могут оказать естественные и антропогенные процессы, протекающие на водосборе. Отсюда вытекает весьма важная роль малых рек и ручьев в аккумуляции и транзите наносов. Именно малые реки, ручьи и их поймы непосредственно контактируют с поставляющими наносы элементами водосбора: склонами долины, оврагами и балками. Поэтому они выполняют роль своеобразного буфера между водосбором и речной сетью, принимая на себя большую часть поступивших с водосбора наносов и тем самым спасая средние и крупные реки от перегрузки наносами и заиления.

Ярким примером тому могут служить ручей и река с одним названием Ведуга. Ручей Ведуга длиной около 10 км ( $F = 86,9 \text{ км}^2$ ) протекает в U — образной долине, преимущественно у правого ее борта, оставляя слева неширокую пойму, плавно переходящую в пологий коренной борт долины. Ширина ручья 4—6 м. Еще 40—50 лет назад постоянный водоток в долине ручья начинался практически от его верховьев; русло свободно меандрировало, в нем чередовались илесто-песчаные перекаты и плесы, глубина которых превышала иногда 2 м.

Интенсивная распашка ранее целинных склонов и плакоров на водосборе ручья в пред-, а особенно в послевоенное время и недо-

статочность противоэрозионных мероприятий привела к резкому увеличению смыва с водосбора верхних гумусированных слоев почвы. Активизировались некоторые овраги. Весь материал с водосбора через склоны, овраги и балки стал поступать на пойму и в русло ручья, водность которого сократилась из-за уменьшения при распашке склонов дебита ряда подземных источников.

В результате за последние 40 лет произошло отмирание верхних 5 км ручья и на месте бывшего тальвега накопился двухметровый слой смытой почвы. В остальной части ручей за этот же период обмелел на 1,0—1,5 м; плесы заилились и выровнялись с перекатами, песчаные отложения оказались погребенными под вязкой илистой массой. При этом воды ручья стали подтоплять низкую пойму, и еще недавно сухие луга на ней превратились в болото. В целом за агрикультурный период мощность слоя аккумуляции в ручье составила 3,5—4,5 м.

Ручей Ведуга впадает в одноименную реку — приток Дона длиной около 60 км и площадью водосбора около 1000 км<sup>2</sup>. Устье ручья расположено на расстоянии 25 км от устья р. Ведуги. Условия формирования стока наносов реки такие же, как и ручья. Казалось бы, на русле реки должно отразиться увеличение смыва почвы с водосборов в виде участков заиления, зарастания, образования бочажинного русла, словом, всего того, что происходит при заилении малой реки. Однако этого почти не наблюдается. Наискосок через русло р. Ведуги вытянуты гряды подвижных перекатов, дно и гряды сложены хорошо отмытым песком. Лишь некоторые прибрежные участки реки заилены. Уступы берегов крутые и омываются непосредственно рекой — прибрежных камышей и рогоза нет. Размываемых уступов почти нет, но это типично для большинства малых рек в гумидных условиях.

В том, что малая река в условиях повышенного смыва почв с полей остается незаиленной, проявляется аккумулярующая роль долин ручьев, которые перехватывают большую часть наносов, поступающих с водосбора.

Остальные характеристики, влияющие на состояние малых рек и их способность обеспечивать транзит поступивших в них наносов: энергетический потенциал малых рек, степень антропогенной нагрузки, определяются различными природно-антропогенными условиями, в которых эти реки протекают. В частности, ведущую роль играют здесь геолого-геоморфологические факторы.

Например, на водосборах рек, протекающих в лесном нечерноземье, неплодородность подзолистых почв на глинистом или песчаном основании, мелкоконтуриность пашен, большая залесенность определяют в среднем невысокий модуль стока наносов, не способствующий заилению малых рек. Однако на их поведение накладывает существенный отпечаток геолого-геоморфологическое строение водосборов. Водосбор р. Протвы расположен в зоне выхода на поверхность трудно размываемых карбонатовых известняков, перекрытых не менее трудно размываемыми моренами московского оледенения, а также четвертичных покровных суглинков. Поэтому

для рек этой зоны типично чередование свободного и ограниченного развития русловых деформаций, что в свою очередь привело к формированию ступенчатого продольного профиля водной поверхности и большой изменчивости формы живого сечения потоков протекающих здесь рек, а следовательно, к колебаниям скорости их течения. Данные особенности при прочих равных условиях увеличивают среднюю эрозионно-транспортную способность малых рек и ручьев и делают их русла достаточно устойчивыми при увеличении поступления наносов с водосбора. Действительно, ручьи первого порядка, впадающие в Протву или ее притоки, практически не заилены, сложены валунами, галькой, крупным песком. Галькой и крупным песком выстлано и русло Протвы, заиленное только в отдельных плесах.

Совершенно иные русла протекают в межморенных и приледниковых тектонических депрессиях, сложенных рыхлыми или связными четвертичными породами. Водосборы рек верхней Мологи и Луха характеризуются отсутствием литологических ограничений для развития русловых деформаций, но имеют такие малые уклоны, что в руслах как ручьев, так и малых рек происходит естественная аккумуляция наносов и превращение их в плавни, а их поймы в болота. Сейчас водотоки так или иначе приспособились к условиям дефицита кинетической энергии, но это равновесие очень неустойчиво, даже локальное и временное увеличение поступления наносов с водосбора вызовет полное прекращение стока в месте «выброса» и ухудшение гидроэкологической обстановки ниже по течению.

В лесостепной и степной зонах водосборы значительно больше и дольше подвергались антропогенному воздействию; увеличению распашки и смыва с полей почвы и росту поступлений наносов в речные бассейны. Но и здесь геолого-геоморфологические факторы заметно влияют на поведение малых водотоков при увеличении стока наносов с водосбора. На дне р. Ведуги выходят коренные девонские мергели горизонтального напластования, из-за чего продольный профиль реки имеет ступенчатый характер, повышающий эрозионно-транспортную способность реки. Такие же выступы типичны для многих рек, текущих по структурным возвышенностям центра Русской равнины (Среднерусской и Приволжской). Все это, наряду с аккумуляющей ролью ручьев, не допускает широкого развития заиления рек. Напротив, в пределах сложенных рыхлыми отложениями низменностей даже ручьи не спасают русла малых и даже средних рек от распространения заиления, как это происходит на реках Окско-Донской низменности (Савала, Терса, Елань), Украинского Полесья (Турья, Стоход) и в других аналогичных местах. Многие степные реки, даже такие, как Иловля, на многих своих участках уже полностью прекратили существование под воздействием роста поступления наносов и сокращения стока воды, которая все больше разбирается на орошение.

Большая пестрота условий протекания эрозионно-аккумулятивных процессов в малых реках не позволяет предложить единую

схему их возрождения — в каждом конкретном случае необходим свой подход. Однако общая причина деградации малых рек ясна — это усиленная эрозия на междуречных пространствах. Поэтому любые действия по спасению малых рек должны как обязательный элемент включать в себя соблюдение принципов почвоводоохранного земледелия на склонах.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бобровицкая Н. Н. Эмпирический метод расчета смыва почвы со склонов. — В кн.: Сток наносов, его изучение и географическое распределение. М., 1977, с. 202—211.
2. Бутылин Г. В. Изучение стока наносов малых водотоков. — Труды ГГИ, 1966, вып. 132, с. 149—164.
3. Дедков А. П. и др. Антропогенные изменения системы процессов экзогенного рельефообразования в Среднем Поволжье. — В кн.: Рельеф и хозяйственная деятельность. М., 1982, с. 20—28.
4. Зорина Е. Ф. Прогноз количества и длины оврагов в пределах балочного водосбора. — В кн.: Эрозия почв и русловые процессы. М., 1981, вып. 8, с. 80—91.
5. Ковальчук И. П. Антропогенные эрозионные процессы в Западной Подолии и их интенсивность. — В кн.: Рельеф и хозяйственная деятельность. М., 1982, с. 34—42.
6. Косов Б. Ф., Константинова Г. С. Комплексная карта овражности равнинной территории СССР. — Геоморфология, 1973, № 3, с. 3—9.
7. Котельников В. Л. Преобразование природы степи и лесостепя, 1949. — 151 с.
8. Ларионов Г. А. Методика средне- и мелкомасштабного картографирования эрозионноопасных земель. — В кн.: Актуальные вопросы эрозиоведения. М., 1984, с. 41—66.
9. Ларионов Г. А., Белоцерковский М. Ю. Карта «Эрозионная опасность сельскохозяйственных земель европейской части СССР». — М., 1987. — 8 с.
10. Лидов В. П., Лобутев А. П., Орлова В. К. Эрозионные явления в бассейне р. Вазувы. — В кн.: Эрозия почв и русловые процессы. М., 1972, вып. 2, с. 3—65.
11. Лисицина К. Н. Изучение стока наносов в первичной гидрографической сети. — Труды ГГИ, 1963, вып. 100, с. 122—135.
12. Лисицина К. Н., Боголюбова И. В. Изучение стока наносов ручьев. — Труды ГГИ, 1964, вып. 111, с. 5—33.
13. Маккавеев Н. И. Русло реки и эрозия в ее бассейне. — М.: Изд-во АН СССР, 1955. — 346 с.
14. Нежиховский Р. А. Русловая сеть бассейна и процесс формирования стока воды. — Л., Гидрометеониздат, 1971. — 475 с.
15. Старостина И. В. О возможности предсказания стока наносов на примере р. Медвянки. — В кн.: Природные ресурсы Москвы и Подмосковья, М., 1974, с. 23—24.
16. Фролов В. Я. Водная эрозия на водосборе Успенского водохранилища. — Труды Лаборатории озероведения АН СССР, т. XVI, 1963, с. 128—171.
17. Цветков М. А. Изменение лесистости европейской России с конца XVII столетия по 1914 г. — М.: Изд-во АН СССР, 1957. — 213 с.
18. Часовникова Э. А. Полевые стационарные исследования экзогенных процессов рельефообразования в Ульяновском Поволжье. — В кн.: Количественный анализ экзогенного рельефообразования, Казань, 1987, с. 30—44.
19. Шевченко П. Г., Шевченкова Т. Ф. Геоморфологические процессы и мелиорация земель в бассейне средней Десны (в пределах Брянской области). — В кн.: Рельеф и хозяйственная деятельность, 1982, с. 131—138.
20. Wishmeier W. H., Smith D. D. Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains. — Agric. handbook, Wash., 1965, N 282.