

УДК 625:630.383

ИССЛЕДОВАНИЯ СКОРОСТЕЙ ДВИЖЕНИЯ ЛЕСОВОЗНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

¹Саблин С.Ю., ¹Скрыпников А.В., ²Козлов В.Г., ¹Брюховецкий А.Н., ³Тихомиров П.В.

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»,
Воронеж, e-mail: s4blin.sablin@yandex.ru, skrypnikovvsafe@mail.ru, skrypnikovvsafe@mail.ru;

²ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет
имени императора Петра I», Воронеж, e-mail: vya-kozlov@yandex.ru;

³ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет»,
Брянск, e-mail: vtichomirov@mail.ru

Для определения зависимостей снижения средних скоростей движения лесовозного подвижного состава от распределения проектных продольных уклонов необходимо проведение исследований. Цель эксперимента определила методику его проведения. Были зарегистрированы скорости движения лесовозного подвижного состава при свободном движении на дорогах, имеющих определенные значения продольных уклонов, в процессе обработки результатов которых сопоставлялись распределения скоростей и распределение продольных уклонов. Цель исследований заключалась в исследовании скоростей движения лесовозного подвижного состава в зависимости от скорости потока, состава, интенсивности движения, ширины проезжей части и характера продольного профиля участков дорог. Анализ представленного материала позволяет сделать вывод, что скорость движения лесовозного подвижного состава является одной из важных характеристик, по которой можно оценивать степень влияния параметров лесовозной автомобильной дороги на экономические показатели её работы. В результате экспериментального изучения влияния ширины проезжей части, интенсивности и состава автомобильного потока на его скорость движения лесовозного подвижного состава получены расчетные формулы, дающие возможность определить с известной погрешностью влияние параметров дороги и автомобильного потока на элементы целевой функции, отражающие транспортно-эксплуатационные расходы.

Ключевые слова: скорость движения, лесовозный подвижной состав, эксперимент, методика, исследование

STUDIES OF THE SPEED OF MOVEMENT OF TIMBER ROLLING STOCK

¹Sablin S.Yu., ¹Skrypnikov A.V., ²Kozlov V.G., ¹Bryukhovetsky A.N., ³Tichomirov P.V.

¹Voronezh state University of engineering technologies, Voronezh,
e-mail: s4blin.sablin@yandex.ru, skrypnikovvsafe@mail.ru, skrypnikovvsafe@mail.ru;

²Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great,
Voronezh, e-mail: vya-kozlov@yandex.ru;

³Bryansk state University of engineering and technology, Bryansk, e-mail: vtichomirov@mail.ru

To determine the dependence of the decrease in the average speed of movement of timber rolling stock on the distribution of the design longitudinal slopes, it is necessary to conduct research. The purpose of the experiment determined the method of its implementation. The speed of movement of timber rolling stock in free movement on roads with certain values of longitudinal slopes was recorded, during the processing of the results of which the speed distributions and the distribution of longitudinal slopes were compared. The aim of the research was to study the speed of movement of timber rolling stock, depending on the flow rate, composition, traffic intensity, width of the roadway and the nature of the longitudinal profile of road sections. Analysis of the material presented leads to the conclusion that the speed of movement of hauling rolling stock is one of the important characteristics, which can be used to assess the impact of forest roads on the economic performance of its work. In the experimental study of the influence of carriageway width, intensity and composition of traffic flow at the speed he is moving hauling rolling stock formulas, giving the opportunity to identify with known error parameters impact roads and traffic flow on the elements of the target function, reflecting vehicle operating costs.

Keywords: speed of movement, timber rolling stock, experiment, methodology, research

Исследование путей повышения экономической эффективности улучшения транспортно-эксплуатационных показателей лесовозных автомобильных дорог основывается на изучении закономерностей, отражающих влияние элементов дороги на основной транспортно-эксплуатационный показатель – скорость движения.

Поэтому дальнейшее повышение эффективности совершенствования принци-

пов и методов обоснования оптимальных скоростей требует существенного развития и продолжения изысканий по поиску новых, эффективных решений по этому вопросу.

Цель работы заключается в исследовании скоростей движения лесовозного подвижного состава в зависимости от скорости потока, состава, интенсивности движения, ширины проезжей части и характера продольного профиля участков дорог.

Материалы и методы исследования

Выбрать необходимое количество участков дорог с необходимыми параметрами для проведения эксперимента представляется затруднительным, поскольку эти участки должны варьироваться по четырём признакам и одновременно отвечать ряду требований с целью компенсации посторонних влияний. Поэтому экспериментальные работы были разделены на два самостоятельных направления, в результате осуществления которых должна быть получена общая зависимость.

Первое направление обуславливается необходимостью определения зависимости скоростей от ширины проезжей части, интенсивности и состава движения, второе – от характеристик продольного профиля.

1. Измерения скоростей движения лесовозного подвижного состава с целью определения зависимости от ширины проезжей части, интенсивности движения и состава потоков производились на специально выбранных участках лесовозных автомобильных дорог.

Для ликвидации посторонних воздействий на режим движения выбирались участки дорог, не имеющие продольных уклонов, горизонтальных кривых, съездов, переездов, близко расположенных сооружений и других факторов, вызывающих снижение скорости.

Длина экспериментальных участков, отвечающих указанным требованиям, назначалась около 500 м в обе стороны от места установки регистрирующего прибора.

За единицу наблюдения принят один час с определенной интенсивностью движения. Количество часов наблюдения для каждой ширины проезжей части определялось по известной формуле [1–3]:

$$n = \sqrt{\frac{t^2 \cdot \sigma^2}{\Delta^2}}, \tag{1}$$

где t – функция доверительной вероятности; σ – среднее квадратическое отклонение, определяющееся из предварительных наблюдений;

Δ – необходимая точность наблюдения.

Размах выборки средних скоростей не превышал 20 км/час.

Общее количество часов наблюдений и диапазон интенсивности движения отражен на рис. 1.

Общее количество автомобилей составило 3175, количество часов наблюдения 60. По причине определенных трудностей, встречающихся при выборе участков дорог с различной шириной проезжей части и с сопоставимыми значениями интенсивности движения, совокупность экспериментальных данных характеризовалась

различием средних уровней интенсивности движения по ширине проезжей части. Это обстоятельство учитывалось при обработке и анализе экспериментальных данных.

2. Формирование выборки для определения зависимости снижения средних скоростей автомобилей от распределения проектных продольных уклонов характеризуется необходимостью включения в исследование возможно большего диапазона сложности продольного профиля.

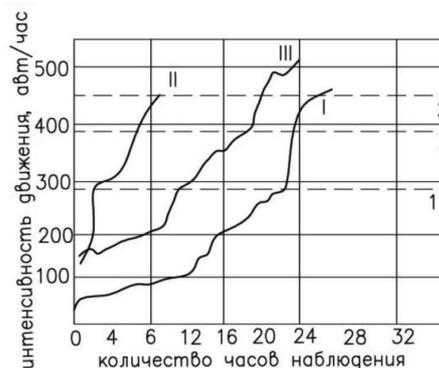


Рис. 1. Диапазоны и средние уровни интенсивностей движения, охваченные экспериментом

Для наблюдений были выбраны участки дорог, характерные для районов с пересеченным рельефом местности. Распределение уклонов экспериментальных участков представлено на рис. 2.

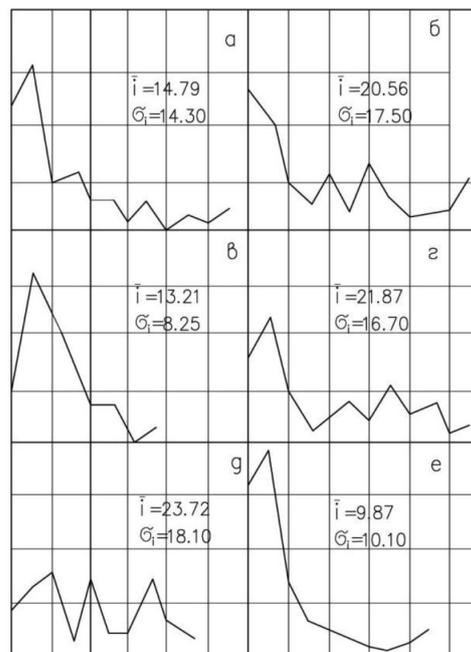


Рис. 2. Распределение уклонов экспериментальных участков лесовозных автомобильных дорог

Экспериментальные исследования и замеры производились при интенсивности движения до 17 авт./час, что соответствует свободным условиям движения [3–5].

Выбор автомобилей для исследования изменения скоростей на участке определялся необходимостью внесения в выборку основных скоростных групп. Скоростные группы включали следующие типы автомобилей:

1. Легковые, микроавтобусы.
2. Грузовые, легковые, средние и автобусы.
3. Лесовозы, грузовые тяжёлые, средние с прицепами.

На каждом из участков обследовалось равное количество представителей разных скоростных групп.

При анализе результатов измерения скоростей на горизонтальных участках имелась в виду линейная связь между средней скоростью потока, интенсивностью и составом движения при различной ширине

проезжей части. Это предположение подтверждается проведёнными исследованиями Курьянова В.К., Кондрашовой Е.В., Скрыпникова А.В. и др. [6–8] и некоторыми зарубежными исследователями [9–11].

В процессе регистрации скоростей автомобилей обработка позволила непосредственно получить распределение скоростей по длине участков и их статистические характеристики.

Установление характера процесса при пассивном эксперименте не является однозначной задачей, и выборке может соответствовать большое количество математических моделей. Кроме того, графическое определение формы связи в случае множественной корреляции затруднено, поэтому математическое выражение связей производится в результате проверки нескольких гипотез.

В данном случае выдвинуто 3 гипотезы о виде регрессии.

В общем виде уравнение выразится:

$$1. Y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 ; \quad (2)$$

$$2. Y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_1^2 + a_3x_2 + a_4x_2^2 + a_5x_1x_2 ; \quad (3)$$

$$3. Y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_1^2 + a_4x_2^2 + a_5x_1^3 + a_6x_2^3 + a_7x_1x_2 + a_8x_1^2 + a_9x_1x_2^2 . \quad (4)$$

Таким образом, предполагается подбор аппроксимирующей зависимости путем последовательного повышения степени полинома с сохранением линейного характера уравнения относительно коэффициентов регрессии.

Аппроксимация эмпирических данных по уравнениям (2)–(4) произведена с помощью стандартных компьютерных программ. В результате получены коэффициенты уравнений регрессии, приведенные в табл. 1.

Таблица 1

Коэффициенты уравнений регрессии

a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8	a_9
0,88032	0,01281	0,00260	-	-	-	-	-	-	-
1,08145	-0,00291	0,00029	0,00446	0,00014	0,00042	-	-	-	-
1,23690	-0,06489	0,02976	0,00458	0,00055	0,00014	0,00010	0,00350	0,00030	0,00028

Далее производился статистический анализ уравнений регрессии, в результате которого должна быть подтверждена одна из гипотез о форме связи [11].

Первый этап анализа состоит в оценке дисперсий.

1. Вычисляется дисперсия линии регрессии, характеризующая изменчивость зависимой переменной в результате изменения независимых переменных:

$$S_p^2(Y) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2, \quad (5)$$

где \hat{Y}_i – теоретические значения зависимой переменной;

\bar{Y} – общая средняя зависимой переменной;

$n-1$ – число степеней свободы выборки.

2. Определяется средний квадрат (полная дисперсия) зависимой переменной:

$$S_p^2(Y) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2, \quad (6)$$

где Y_i – выборочные значения зависимой переменной.

3. Вычисляется остаточная дисперсия, отражающая рассеивание экспериментальных точек относительно линии регрессии:

$$S_{\text{ост}}^2(Y) = \frac{1}{n - m} \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2, \quad (7)$$

где m – число коэффициентов регрессии.

После оценки дисперсии определяется теснота связи зависимой переменной с независимой переменной с независимыми, при помощи корреляционного отношения:

$$\rho = \sqrt{\frac{S_p^2(Y)}{S_n^2(Y)}}. \quad (8)$$

Окончательный выбор уравнения регрессии осуществлялся при проверке адекватности гипотетических математических моделей эмпирической выборки. Проверка адекватности производится оцениванием соотношения дисперсий при помощи F–критерия Фишера. Оценивалась случайность отклонения эмпирических данных от линии регрессии при заданном уровне значимости.

$$F = \frac{S_p^2(Y)}{S_{\text{ост}}^2(Y)} > F_{\alpha}(f_n : f_{\text{ост}}), \quad (9)$$

где $\alpha = 0,05$ – уровень значимости;

$f_n = n - 1$ – число степеней свободы полной дисперсии;

$f_{\text{ост}} = m - 1$ – число степеней свободы остаточной дисперсии;

$F_{\alpha}(f_n : f_{\text{ост}})$ – табличное значение критерия для заданных уровней значимости и числа степеней свободы дисперсий.

Если выполняется соотношение (9), то долю остаточной дисперсии по отношению к полной можно считать несущественной и гипотеза верна. И, наконец, для выбранного уравнения регрессии необходимо определить доверительные границы, т.к. результат вычисления по корреляционному уравнению может не совпадать с $Y_{\text{фак}}$. В данном случае можно говорить только о точном определении границ, в которых с заданной вероятностью заключается $Y_{\text{фак}}$.

$$\text{Для } \rho = 0,95 \quad Y_{\text{фак}} = \pm 2\sqrt{S_{\text{ост}}^2(Y)}. \quad (10)$$

Результаты статистического анализа гипотезы представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты статистического анализа гипотезы

$S_p^2(Y)$	$S_n^2(Y)$	$S_{\text{ост}}^2(Y)$	$\rho = \sqrt{\frac{S_p^2(Y)}{S_n^2(Y)}}$	$F = \frac{S_n^2(Y)}{S_{\text{ост}}^2(Y)}$	f_n	$f_{\text{ост}}$	$f_{0,005}$
0,01761	0,00853	0,02792	0,675	1,308	82	2	3,012
0,02193	0,03853	0,01701	0,706	2,265	82	0,5	2,34
0,02334	0,03853	0,01707	0,780	2,265	82	9	2,03

Сопоставляя характеристики тесноты связи и степени адекватности, видим, что гипотеза 3 наиболее хорошо описывает эмпирическую выборку.

Следовательно, принимается гипотеза 3, по которой величина τ выражается полиномом 3-й степени:

$$\tau = 1,23 - 0,0649\bar{i} + 0,0298\sigma_i + 0,0046\bar{i}^2 + 0,00055\sigma_i^2 - 0,000139\bar{i}^3 + \\ + 0,000103\sigma_i^3 - 0,0035\bar{i}\sigma_i + 0,000304\bar{i}^2\sigma_i - 0,000276\bar{i}\sigma_i^2, \quad (11)$$

где \bar{i} и σ_i – статистические характеристики продольного профиля.

Дальнейшая обработка экспериментальных данных заключалась в объединении в общей зависимости формул (7)–(9) с целью вывода расчетной формулы, отражающей влияние геометрических параметров дороги на среднюю скорость автомобильного потока.

В общем виде зависимости выражаются следующим образом:

$$\bar{V}_b = \bar{V}_0 - AN + B_p, \quad (12)$$

С некоторым приближением сумму $\overline{V_0} + B_p$ можно принять скоростью свободного движения потока на горизонтальном участке дороги. Коэффициент τ выражает снижение скорости свободного движения потока на участках с продольными уклонами, отличными от 0. Следовательно, $\frac{\overline{V_0} + B_p}{\tau}$ представляет собой скорость свободного движения автомобильного потока на таких участках.

С учетом (12) скорость потока определится как:

$$\overline{V_i} = \frac{\overline{V_0} + B_p}{\tau} - AN. \quad (13)$$

Уравнение (13) предполагает, что увеличение интенсивности движения на участках со сложными продольными профилями не вызывает дополнительного снижения скорости и снижение скорости по мере увеличения параметров \bar{i} и σ_i происходит одинаково для любой ширины проезжей части. Это обстоятельство несколько углубляет оценку режима движения автомобильного потока, но подобный подход допустим при технико-экономических обоснованиях, характеризующихся высокой устойчивостью решений и поэтому не требующих определения влияния побочных воздействий на скорость движения. Следует заметить, что опытное определение указанного влияния требует проведения достаточно сложного, желательно активно экспериментального.

На основании выражений (7)–(9) и (13) скорость движения автомобильного потока с учетом воздействия продольного профиля

определится для ширины проезжей части 7,5 следующим образом:

$$V_{7,5} = \frac{65,9 + 0,1056p}{\tau} - 0,0278N. \quad (14)$$

С целью проверки полученных экспериментальным путем зависимостей произведен сравнительный анализ формул с зависимостями Кероглу Л.А. [11] и данными непосредственных измерений скоростей, не вошедших в исходные выборки (табл. 3), что характеризует сравнение скоростей, вычисленных и измеренных на горизонтальных участках лесовозных автомобильных дорог.

Значительные расхождения результатов расчета скоростей по данным Кероглу Л.А. с наблюдаемыми и вычисленными по формулам (8), (9) объясняются повышением динамических качеств автомобилей, когда проводились исследования [11]. Кроме того, формулы (8), (9) выведены на основании выборок, включающих интенсивности движения несколько меньшие, чем использовались Кероглу Л.А. Проведенный анализ подтверждает необходимость проведения эксперимента по наблюдению изменения скорости движения в зависимости от ширины проезжей части.

Измерения скоростей производились на участках с характерными распределениями продольных уклонов, поэтому анализ полученных зависимостей произведен только для этого типа лесовозных автомобильных дорог. Для анализа из общей совокупности данных взяты случайные единицы наблюдений.

Табл. 4 отражает исходные данные для вычисления скоростей движения и полученных результатов.

Таблица 3

Сравнение скоростей, вычисленных и измеренных на горизонтальных участках лесовозных автомобильных дорог

N	p	b	V по данным Кероглу	V по данным СибАДИ	V фактическая
71	20	7	55,62	66,06	61,90
98	27,3	7	54,76	66,03	65,3
138	18,5	7	53,64	64,04	63,50
202	39,4	7	61,66	64,30	65,10
243	32,4	7	50,42	62,40	61,60
459	23,2	7	44,11	55,56	57,40
493	21,4	7	43,07	54,30	55,80
148	28	2x7,5	53,90	70,40	68,00
172	27,9	2x7,5	53,31	70,03	67,20
370	24,7	2x7,5	48,47	66,82	64,80
485	24,9	2x7,5	45,69	65,07	66,80
420	24,3	2x7,5	47,20	65,90	67,10

Таблица 4

Вычисления скоростей движения

\bar{i}	σ_i	p%	$\tau_2(p)$	$\alpha(p)$	N авт./4	V расч.	V факт.
21,87	16,7	32,7	0,775	0,0140	174	55,56	56,59
14,79	14,3	29,0	0,770	0,0142	50	63,21	62,50
20,56	17,5	21,0	0,750	0,0160	50	58,41	58,33
16,21	10,25	35,4	0,78	0,0136	100	63,32	56,84
9,5	7,5	16,2	0,710	0,0164	210	60,00	61,86
14,79	14,3	14,4	0,700	0,017	97	60,40	58,33
21,87	16,7	44,4	0,790	0,0125	126	58,10	69,84
21,87	16,7	25,2	0,760	0,0152	111	56,92	59,32
9,87	10,1	35,6	0,780	0,0136	124	63,76	67,83
23,72	18,1	29,7	0,770	0,0144	118	55,12	57,71
23,72	18,1	38,7	0,780	0,013	125	56,82	57,26

Анализ небольшой выборки показывает, что вычисленные значения скоростей хорошо сходятся с наблюдаемыми среднечасовыми скоростями. Среднее расхождение при этом $S = 2,4$ км/час.

Таким образом, использование зависимостей (12), (14) при решении задач технико-экономического обоснования является достаточно обоснованным.

Выводы

Проведение экспериментальных работ и результаты обработки полученной информации позволяют сделать следующие выводы.

1. Скорость движения автомобилей является одной из важных характеристик, по которой можно оценивать степень влияния параметров лесовозной автомобильной дороги на экономические показатели её работы. В результате экспериментального изучения влияния ширины проезжей части, интенсивности и состава автомобильного потока на его скорость получены расчетные формулы, дающие возможность определить с известной погрешностью скорость потока как функцию от N, v и p. Эти зависимости при сравнительных расчётах дали результаты, значительно лучше сходящиеся с фактическими скоростями, чем результаты, полученные по данным других исследований.

2. Существенное влияние на скорость автомобильного потока оказывает сложность продольного профиля. Экспериментальным путём выведен коэффициент, учитывающий снижение скорости автомобильного потока в зависимости от характеристик \bar{i} и σ_i . Этот коэффициент выражается полиномом третьей степени и предполагает учет снижения скорости свободного движения.

3. В результате анализа зависимостей $V = f(N, b, p)$ и коэффициента $\tau = f(\bar{i}, \sigma_i)$ получены уравнения, выражающие скорость автомобильного потока как функцию геометрических параметров дороги, интенсивности и состава движения.

Формализация связи $V = f(N, b, p, \bar{i}, \sigma_i)$ позволяет учесть влияние этих параметров дороги и автомобильного потока на элементы целевой функции, отражающие транспортно-эксплуатационные расходы.

Список литературы

1. Чернышова Е.В. Алгоритм решения задачи оптимального трассирования лесовозной автомобильной дороги на неоднородной местности // Вестник ВГУИТ. 2017. Т. 79. № 2 (72). С. 113–120.
2. Dorokhin S.V., Chernyshova E.V. Mathematical Model of Statistical Identification of Car Transport Informational Provision. J. Engineering and Applied Sciences. 2017. V. 12. No. 2. P. 511–515.
3. Чернышова Е.В. Методы формирования цифровой модели местности при трассировании лесовозных автомобильных дорог // Системы. Методы. Технологии. 2017. № 3(35). С. 143–148.
4. Чернышова Е.В., Чирков Е.В., Поставничий С.А., Могутнов Р.В. Теоретические основы и методы математического моделирования лесовозных автомобильных дорог // ИВУЗ Лесной журнал. 2018. № 6 (366). С. 117–127.
5. Козлов В.Г., Скрыпников А.В., Микова Е.Ю., Могутнов Р.В., Чирков Е.В. Формирование модели проектирования системы «дорожные условия – транспортные потоки» и пути ее реализации // Лесоинженерное дело. 2018. Т. 8. № 1 (29). С. 100–111. DOI: 10.12737/article_5ab0dfbe6ce23.91630316.
6. Кондрашова Е.В., Скворцова Т.В. Совершенствование организации дорожного движения в транспортных системах лесного комплекса // Системы управления и информационные технологии. 2008. № 3.2(33). С. 272–275.
7. Кондрашова Е.В. Проектирование энергосберегающих конструкций лесовозных автомобильных дорог // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2012. № 77. С. 423–435.

8. Zavrazhnov A.I., Belyaev A.N., Zelikov V.A., Tikhomirov P.V., Mikheev N.V. Designing mathematical models of geometric and technical parameters for modern road-building machines versus the main parameter of the system. Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology Proceedings of the International Symposium «Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research» dedicated to the 85-th anniversary of H.I. Ibragimov (ISEES 2019). 2019. P. 823–827.

9. Berestnev O, Soliterman Y, Goman A Development of Scientific Bases of Forecasting and Reliability Increase of Mechanisms and Machines – One of the Key Problems of En-

gineering Science. International Symposium on History of Machines and Mechanisms Proceedings. 2000. P. 325–332.

10. Gulevsky V.A., Logoyda V.S., Menzhulova A.S. Method of Individual Forecasting of Technical State of Logging Machines. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. V. 327(4). P. 042–056. DOI: 10.1088/1757-899X/327/4/042056.

11. Labudin B.V., Ivko V.R., Koltsova E.I., Skrypnikov A.V., Kozlov V.G., Levushkin D.M., ... Zelikov V.A. INCREASING PIT ROAD INCLINATIONS AT HIGH LATITUDE DEPOSITS OF SOLID MINERALS. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2020. V. 15(19). P. 2168–2173.