

## ГИДРОЛОГИЯ

УДК 556.535

В.Г. Калинин, Н.В. Калинин

**АНАЛИЗ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ СРОКОВ ЛЕДООБРАЗОВАНИЯ ОТ ОСНОВНЫХ ФАКТОРОВ НА РЕКАХ ВОДОСБОРА ВОТКИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА**

Выполнено исследование корреляционных зависимостей сроков появления льда и установления ледостава на реках водосбора Воткинского водохранилища от даты перехода температуры воздуха через  $0^{\circ}\text{C}$  к отрицательным значениям по ближайшей к гидрологическому посту метеостанции. Выявлено, что параметры  $a$  и  $b$  в уравнениях линейной регрессии определяются разной степенью влияния азональных факторов и их пространственное распределение не подчиняется закону географической зональности.

Ключевые слова: река; ледовый режим; процессы ледообразования; корреляционные зависимости.

Процессы ледообразования на реках определяются физико-географическими особенностями водосбора, гидрометеорологическим режимом, морфометрическими и гидродинамическими характеристиками, а также антропогенным воздействием. Появлению первичных форм льда в виде сала, снежур, заберегов и внутриводного льда предшествует осеннее охлаждение водоемов, которое начинается с момента, когда температура воздуха опускается ниже температуры воды и тепловой баланс становится отрицательным. С переходом температуры воздуха через  $0^{\circ}\text{C}$  к отрицательным значениям резко возрастают величины теплопотерь за счет испарения и турбулентного теплообмена с атмосферой [1].

По средним многолетним данным наблюдений на гидрологических постах (г/п) ледообразование начинается в период с 19 по 21 октября на реках северо-востока водосбора Воткинского водохранилища. В период с 24 по 27 октября процессами ледообразования охвачены реки северной и средней частей рассматриваемой территории. На южных реках появление ледовых явлений отмечается 26-30 октября. На малых реках ( $A < 1000 \text{ м}^2$ ) равнинной части территории общие зональные закономерности нарушаются и появление ледовых явлений наблюдается в более ранние сроки – 21-24 октября [2].

Поскольку устойчивый переход температуры воздуха через  $0^{\circ}\text{C}$  к отрицательным значениям определяет начало интенсивного охлаждения водных объектов и сроки появления ледовых явлений (Дл.я.), рассмотрим зависимости последних от даты перехода температуры воздуха через  $0^{\circ}\text{C}$  к отрицательным значениям ( $D 0^{\circ}\text{C}$ ) по ближайшей к гидрологическому посту метеостанции.

Теснота связей, построенных по 57 гидрологическим постам, для сроков появления устойчивых ледовых явлений (рис. 1а) в 61,40% случаев характеризуется коэффициентами корреляции более 0,80, а в 77,19% – более 0,70 (табл. 1), при этом продолжительность периода от перехода температуры воздуха через  $0^{\circ}\text{C}$  до появления ледовых явлений изменяется по постам от 0 до 10 сут., составляя в среднем 5 суток. Для сроков установления ледостава теснота связей значительно понижается (21,05% случаев с  $r > 0,70$ ), поскольку этот фактор перестает быть определяющим, что приводит к увеличению заблаговременности в среднем до 7 сут. (от 4 до 19 сут., для постов с коэффициентами корреляции более 0,70).

Зависимости сроков установления ледостава от сроков появления ледовых явлений (рис. 1б) при заблаговременности от 4 до 24 сут. по разным постам в 40,35% случаев характеризуются

© Калинин В.Г., Калинин Н.В., 2013

**Калинин Виталий Германович**, доктор географических наук, профессор кафедры физической географии и ландшафтной экологии Пермского государственного национального исследовательского университета; Россия 614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15; vgkalinin@gmail.com

**Калинин Никита Витальевич**, экономист Банка России; Россия 103016, г. Москва, ул. Неглинная, 12; niki\_kalinin@mail.ru

коэффициентами корреляции более 0,70, а в 15,79% – более 0,80. Эти, наиболее тесные зависимости наблюдаются преимущественно на северных реках (Колва, Язьва, Пильва, Уролка, Березовая и др.), где реже наблюдаются возвраты тепла и продолжительность периода с ледовыми явлениями составляет в среднем 8 сут.

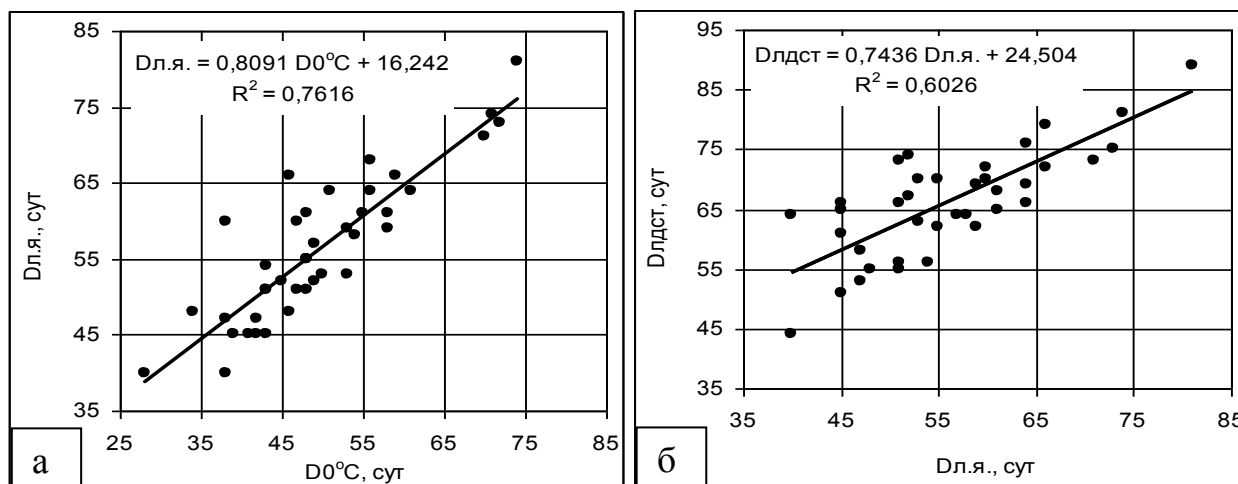


Рис. 1. Зависимости сроков появления ледовых явлений (Дл.я.) от даты перехода температуры воздуха через 0°C (D 0°C) (а) и сроков установления ледостава (Длдст) от сроков появления ледовых явлений (Дл.я.) (б) по г/п Кама – Гайны за период с 1956 по 1995 г.

Анализ периода заблаговременности для зависимостей даты появления ледовых явлений от даты перехода температуры воздуха через 0°C показал, что большая продолжительность (9-13 сут.) характерна для постов, расположенных на горных реках с повышенными скоростями течения и в зоне влияния сбросов промышленных вод.

Таблица 1

#### Распределение гидрологических постов по тесноте связей

Характеристика	Коэффициенты корреляции			
	Менее 0,70	0,70 ÷ 0,79	0,80 ÷ 0,89	Более 0,90
Зависимость даты появления ледовых явлений от даты перехода температуры воздуха через 0 °С				
Количество постов	13	9	17	18
% от общего числа	22,81	15,79	29,82	31,58
Зависимость даты установления ледостава от даты перехода температуры воздуха через 0 °С				
Количество постов	45	5	7	0
% от общего числа	78,95	8,77	12,28	0,00
Зависимость даты установления ледостава от даты появления ледовых явлений				
Количество постов	34	14	9	0
% от общего числа	59,65	24,56	15,79	0,00

Для этих пунктов коэффициенты корреляции менее 0,70. Для гидрологических постов, расположенных на малых реках, продолжительность периода в большинстве случаев не превышает 3 суток. Наибольший интерес представляют зависимости для средних рек с коэффициентами корреляции более 0,80 и заблаговременностью 5-8 суток, которые являются статистически значимыми. Эти зависимости рекомендованы для использования в практике составления ледовых прогнозов и консультаций (табл. 2).

Кроме того, выполнен сравнительный анализ оправдываемости прогнозов по полученным зависимостям и по норме (табл. 2), поскольку применение методики прогноза на практике является целесообразным лишь в том случае, когда обеспеченность допустимой погрешности более чем на 10 % превышает обеспеченность вероятного отклонения от нормы [3].

Как видно из табл. 2, оправдываемость прогнозов, выпущенных с использованием нормы, в среднем в 2,6 раза ниже оправдываемости по предлагаемым зависимостям, что свидетельствует об

эффективности использования последних в случае отсутствия более надежных методик для условий данного водного объекта.

Таблица 2

**Характеристики исследуемых зависимостей, отвечающих требованиям методик прогноза на реках водосбора Воткинского водохранилища за 1956-1995 гг.**

Гидрологический пост	$r$	$\Delta$ , сут	$P$ , %	$P_N$ , %	Уравнение
Зависимости сроков появления устойчивых ледовых явлений (Дл.я.) от даты перехода температуры воздуха через $0^\circ\text{C}$ ( $D\ 0^\circ\text{C}$ )					
Колва – Камгорт*	0,93	7	69	26	Дл.я. = $0,81 D\ 0^\circ\text{C} + 15,96$
Кама – Тюлькино	0,93	5	74	28	Дл.я. = $0,84 D\ 0^\circ\text{C} + 13,58$
Кама – Бондюг*	0,92	7	65	25	Дл.я. = $0,82 D\ 0^\circ\text{C} + 15,33$
Колва – Чердынь	0,92	6	73	23	Дл.я. = $0,80 D\ 0^\circ\text{C} + 15,68$
Очер – Казымово*	0,92	5	65	30	Дл.я. = $0,92 D\ 0^\circ\text{C} + 9,92$
Кама – Волосницкое*	0,94	5	67	25	Дл.я. = $0,85 D\ 0^\circ\text{C} + 12,83$
Вишера – Рябинино*	0,89	7	70	25	Дл.я. = $0,71 D\ 0^\circ\text{C} + 20,71$
Чусовая – Лямино*	0,89	5	70	23	Дл.я. = $0,74 D\ 0^\circ\text{C} + 19,10$
Пильва – Усть-Кайб*	0,88	8	70	33	Дл.я. = $0,73 D\ 0^\circ\text{C} + 21,20$
Койва – Медведка*	0,88	7	70	25	Дл.я. = $0,78 D\ 0^\circ\text{C} + 18,14$
Колва – Петрецово*	0,88	7	64	31	Дл.я. = $0,72 D\ 0^\circ\text{C} + 19,48$
Кама – Гайны*	0,93	6	58	26	Дл.я. = $0,87 D\ 0^\circ\text{C} + 12,99$
Коса – Коса*	0,93	6	61	26	Дл.я. = $0,89 D\ 0^\circ\text{C} + 11,01$
Язьва – Нижняя Язьва*	0,87	7	67	31	Дл.я. = $0,75 D\ 0^\circ\text{C} + 19,46$
Весляна – У.Черная*	0,84	7	67	40	Дл.я. = $0,81 D\ 0^\circ\text{C} + 16,72$
Иргина – Шестаково	0,91	15	81	22	Дл.я. = $1,16 D\ 0^\circ\text{C} + 6,87$
Зависимости сроков установления ледостава (Длдст) от даты перехода температуры воздуха через $0^\circ\text{C}$ ( $D\ 0^\circ\text{C}$ )					
Кама – Гайны	0,72	17	83	42	Длдст = $0,65 D\ 0^\circ\text{C} + 33,99$
Кама – Керчевский	0,77	13	80	30	Длдст = $0,72 D\ 0^\circ\text{C} + 27,46$
Кама – Тюлькино	0,80	12	85	31	Длдст = $0,77 D\ 0^\circ\text{C} + 24,19$
Весляна – Оныл	0,77	15	75	31	Длдст = $0,72 D\ 0^\circ\text{C} + 28,56$
Вишера – Вая	0,80	19	72	23	Длдст = $0,68 D\ 0^\circ\text{C} + 34,10$
Березовая – Булдырья	0,77	14	72	26	Длдст = $0,71 D\ 0^\circ\text{C} + 28,05$
Кондас – Ощепково*	0,80	10	69	31	Длдст = $0,82 D\ 0^\circ\text{C} + 19,27$
Иньва – Слудка*	0,80	9	62	22	Длдст = $0,69 D\ 0^\circ\text{C} + 26,26$
Вогулка – Шамары	0,83	9	72	31	Длдст = $0,80 D\ 0^\circ\text{C} + 19,63$

Примечание:  $r$  – коэффициент корреляции,  $\Delta$  – средняя заблаговременность, сут,  $P$  – обеспеченность допустимой погрешности, %,  $P_N$  – обеспеченность допустимой погрешности, рассчитанная по норме, %. \* – рекомендовано использовать для выпуска консультаций в связи с низкой оправдываемостью прогнозов. При составлении прогнозов по уравнениям даты пересчитываются в числа от 1 сентября.

При построении и анализе регрессионных зависимостей используется линейная аппроксимация в виде  $\text{Дл.я.}_i = a_i D\ 0^\circ\text{C}_i + b_i$ , где  $i$  – рассматриваемый объект,  $a_i$  и  $b_i$  – параметры регрессии для  $i$  пункта наблюдений (табл. 2). Как видно из табл. 2, по одним пунктам параметры  $a$  и  $b$  близки друг другу, по другим – отличаются, поэтому возникают следующие вопросы: 1) является ли отличие по разным гидрологическим постам проявлением закона географической зональности и возможно ли их картографирование? 2) нельзя ли для близких по этим параметрам пунктов наблюдений использовать одно и то же уравнение регрессии? Рассмотрим эти моменты подробнее.

Так как регрессионные модели строятся на основе достаточно ограниченных объемов выборок, то параметры  $a_i$  и  $b_i$  являются случайными величинами со значимой дисперсией, принадлежащие соответственно интервалам  $a_i \pm \sigma_{a_i}$  и  $b_i \pm \sigma_{b_i}$  (табл. 3).

Таблица 3

**Значения параметров уравнений регрессии для зависимостей сроков появления ледовых явлений от даты перехода температуры воздуха через 0°C к отрицательным значениям по ближайшей метеостанции**

Название гидрологического поста	Параметры уравнений регрессии и их среднеквадратические отклонения			
	<i>a</i>	$\sigma_a$	<i>b</i>	$\sigma_b$
Колва – Камгорт	0,81	0,05	15,96	2,64
Кама – Тюлькино	0,84	0,06	13,58	2,90
Кама – Бондюг	0,82	0,06	15,33	2,70
Колва – Чердынь	0,80	0,06	15,68	2,72
Кама – Волосницкое	0,83	0,07	13,61	3,48
Кама – Гайны	0,81	0,07	16,24	3,72
Весляна – Усть-Черная	0,81	0,09	16,72	4,40
Коса – Коса	0,86	0,08	13,57	4,04
Очер – Казымово	0,90	0,07	10,57	3,91
Вишера – Рябинино	0,71	0,06	20,70	2,84
Чусовая – Лямино	0,74	0,06	19,10	3,28
Пильва – Усть-Кайб	0,73	0,06	21,20	3,07
Колва – Петрецово	0,72	0,06	19,48	2,90
Язьва – НижняяЯзьва	0,75	0,07	19,46	3,51
Койва – Медведка	0,78	0,07	18,14	3,57
Иргина – Шестаково	1,16	0,14	6,87	7,41

Из табл. 3 видно, что коэффициенты *a* и *b* по некоторым постам близки друг к другу и при одновременном выполнении условий (1) можно считать, что различия параметров *a* и *b* *i*-того и *k*-того гидрологических постов статистически не значимо. Следовательно, для них можно использовать уравнение с одними и теми же значениями *a* и *b*:

$$\begin{cases} a_i \in [a_k \pm \sigma_{a_k}], b_i \in [b_k \pm \sigma_{b_k}] \\ a_k \in [a_i \pm \sigma_{a_i}], b_k \in [b_i \pm \sigma_{b_i}] \end{cases} \quad (1)$$

Итогом такого анализа по всем постам будет являться матрица, где наименованием строк и столбцов будут названия постов, а элементами – знаки: «+» при выполнении всех перечисленных условий и «-» при невыполнении хотя бы одного условия (табл. 4). Как видно из табл. 4, формируются группы, в пределах которых можно использовать уравнение с одинаковыми параметрами. Результаты представлены в табл. 5.

Следует отметить, что картографирование параметров *a* и *b* имеет смысл, если зависимости сроков появления устойчивых ледяных образований по всем гидрологическим постам построены от даты перехода температуры воздуха через 0 °С к отрицательным значениям по одной и той же метеостанции, где этот переход наблюдается в самые ранние сроки, например, по самой северной метеостанции в пределах рассматриваемой территории.

В нашем случае, когда уравнения регрессии между исследуемыми характеристиками получены по ближайшей к посту метеостанции, то проявление географической зональности в параметрах уравнений отсутствует, а различия значений коэффициентов *a* и *b* между постами отражают разный набор азональных факторов, влияющих на процессы ледообразования. Другими словами, если эти значения в уравнениях регрессии для разных гидрологических постов схожи, то это свидетельствует лишь об одинаковой роли азональных факторов, но не о том, что это действие одного и того же фактора. Для одного поста это может быть влияние морфометрических характеристик, а для другого – влияние

разгрузки грунтовых вод или антропогенного воздействия. Поэтому их картографирование не имеет смысла.

Таким образом, параметры  $a$  и  $b$  могут группироваться по разным причинам, поэтому нет соответствия между этими группами и географическими районами. Формирование нескольких групп пунктов наблюдений определяется разной степенью влияния аazonальных факторов.

Таблица 4

**Матрица принадлежности параметров уравнений регрессии  $a_i$  и  $b_i$  интервалу  $a_i \pm \sigma_{a_i}$  и  $b_i \pm \sigma_{b_i}$  для разных гидрологических постов**

Название гидрологического поста	Колва – Камгорт	Кама – Тюлькино	Кама – Бондюг	Колва – Чердынь	Кама – Волосницкое	Кама – Гайны	Весляна – У. Черная	Коса – Коса	Очер – Казымово	Вишера – Рябинино	Чусовая – Лямино	Пильва – Усть-Кайб	Колва – Петрецово	Язьва – Ниж. Язьва	Койва – Медведка	Иргина – Шестаково
Колва – Камгорт	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	+	+	-
Кама – Тюлькино	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-
Кама – Бондюг	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	+	-
Колва – Чердынь	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	+	-
Кама – Волосницкое	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-
Кама – Гайны	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	+	+	-
Весляна – У. Черная	+	-	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	+	+	-
Коса – Коса	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-
Очер – Казымово	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-
Вишера – Рябинино	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-
Чусовая – Лямино	-	-	-	-	-	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+	-
Пильва – Усть-Кайб	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-
Колва – Петрецово	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-
Язьва – Ниж. Язьва	-	-	-	-	-	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+	-
Койва – Медведка	+	-	-	+	-	+	+	-	-	-	+	+	+	+	+	-
Иргина – Шестаково	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+

Таблица 5

**Уравнения регрессии зависимости сроков появления устойчивых ледовых явлений (Дл.я.) от даты перехода температуры воздуха через  $0^{\circ}\text{C}$  ( $D\ 0^{\circ}\text{C}$ ) на реках, для которых можно использовать одинаковые параметры**

Гидрологический пост	Уравнение
Колва – Камгорт	Дл.я. = $0,82 D\ 0^{\circ}\text{C} + 15,07$
Кама – Тюлькино	
Кама – Бондюг	
Колва – Чердынь	
Кама – Волосницкое	
Кама – Гайны	
Вишера – Рябинино	Дл.я. = $0,74 D\ 0^{\circ}\text{C} + 19,47$
Чусовая – Лямино	
Пильва – Усть-Кайб	
Колва – Петрецово	
Язьва – Нижняя Язьва	Дл.я. = $0,88 D\ 0^{\circ}\text{C} + 12,07$
Очер – Казымово	
Коса – Коса	

Применение обобщенного уравнения на неизученных реках, в случае если в пределах одного географического района по разным рекам уравнения регрессии будут схожи (табл. 5), возможно лишь для приближенной оценки (выпуска консультаций), но не для прогноза. Это связано с тем, что оправдываемость прогноза даже по уравнению, полученному для конкретного створа, не всегда удовлетворяет достаточно жестким критериям его оценки. Поэтому для других створов, где местные условия будут несколько отличаться, оправдываемость прогноза будет еще ниже.

**Библиографический список**

1. Донченко Р.В. Ледовый режим рек СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1987. 247 с.
2. Калинин В.Г., Калинин Н.В. Оценка однородности условий ледообразования на реках водосбора Воткинского водохранилища // Географический вестник. 2012. № 3 (22). С. 39–43.
3. Наставление по службе прогнозов. Л.: Гидрометеиздат, 1962. Разд. III. Ч.1. 362 с.

**V.G. Kalinin, N.V. Kalinin****ANALYSIS OF CORRELATION DEPENDENCES OF ICE FORMATION TERMS FROM MAIN FACTORS ON RIVERS OF THE BASIN OF VOTKINSKIY WATER STORAGE RESERVOIR**

The research of correlations dependences of ice formation on rivers of the basin of votkinskiy water storage reservoir from the date of transition of air temperature over 0°C to negative values at the nearest meteorological station to the hydrological post. It was revealed that the parameters *a* and *b* in the linear regression equation determined by varying degrees of influence azonal factors and their spatial distribution is not subject to the law of geographical zoning.

Key words: river; ice regime; the processes of ice formation; correlation dependences.

**Vitaly G. Kalinin**, Doctor of Geography, Professor of Department of Physical Geography and Landscape Ecology, Perm State University; 15 Bukireva, Perm, Russia 614990; vgakalinin@gmail.com

**Nikita V. Kalinin**, economist of Bank of Russia; 12 Neglinnaya, Moscow, Russia 103016; niki\_kalinin@mail.ru

УДК 556.5 (551.3.051)

**Е.Р. Кременецкая, В.В. Законнов, Д.В. Ломова, Д.И. Соколов****СТРУКТУРА ВНУТРИВОДОЕМНЫХ ПОТОКОВ ВЗВЕШЕННЫХ И ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В МОЖАЙСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ**

На основании материалов гидрологических съемок Можайского водохранилища в 2009 г. получены количественные оценки изменчивости физико-химических показателей состава и концентрации взвешенных веществ и донных отложений. Проводились наблюдения за образованием органического вещества в результате продуцирования фитопланктона, его осаждением в ходе седиментационных процессов и содержанием органического вещества в воде и донных отложениях. Составлены ориентировочные седиментационные балансы четырех районов водохранилища, в которых впервые оценены величины взмучивания взвесей со дна.

Ключевые слова: взвеси; донные отложения; седиментация; трансседиментация; режим эксплуатации; водохранилища питьевого назначения; качество воды.

© Кременецкая Е.Р., Законнов В.В., Ломова Д.В., Соколов Д.И., 2013  
Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 09-05-00657-а)

**Кременецкая Екатерина Рифовна**, кандидат географических наук, старший научный сотрудник Института водных проблем Российской академии наук; Россия 119333, Москва, ул. Губкина, д. 3; ekrem@front.ru

**Законнов Виктор Васильевич**, доктор географических наук, главный научный сотрудник лаборатории гидрологии и гидрохимии Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина Российской академии наук; Россия 152742, Ярославская обл., Некоузский р-н, пос. Борок, д. 59, кв. 42; zak@idiw.yaroslavl.ru

**Ломова Диана Владиславовна**, кандидат географических наук, научный сотрудник Института водных проблем Российской академии наук; Россия 119333 Москва, ул. Губкина, д. 3; florainter@mail.ru

**Соколов Дмитрий Игоревич**, научный сотрудник МГУ им. М.В.Ломоносова; Россия 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1; fabulist@list.ru