

ГУМУСНОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЧВ ГОРНОГО АЛТАЯ И ЕГО ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОБУСЛОВЛЕННОСТЬ

¹Н. Н. Рябова, кандидат биологических наук

²М. И. Дергачёва, доктор биологических наук, профессор

²Е. Г. Захарова, младший научный сотрудник

¹Томский сельскохозяйственный институт, филиал
Новосибирского государственного аграрного университета

²Институт почвоведения и агрохимии СО РАН

E-mail: naryb@vtomske.ru

Ключевые слова: климат, увлажнение, почвы, гумус, экологические условия, педокосм, палеоприродная среда, палеореконструкции, соотношение гумусовых веществ, Горный Алтай, модель, регрессия

Реферат. Гумус выполняет одну из главнейших функций, которая важна для экосистем и биосферы, а также антропосферы в целом – функцию плодородия почв. При антропогенном воздействии на территориях с разными климатическими параметрами гумус почв ведёт себя по-разному. Рассматривается проблема необходимости адекватной оценки зависимости состояния гумуса почв от экологических условий. Актуальность вопроса экологической обусловленности признаков состава и свойств гумуса почв вытекает из возможности прогнозировать поведение системы гумусовых веществ, зная направленность воздействия и изменения условий функционирования этой системы. Исследуются почвы разных высотных поясов в условиях аридного, гумидного и сбалансированного увлажнения. Дана краткая характеристика гумусного состояния современных почв Горного Алтая – сложной в сельскохозяйственном отношении территории. Изучены основные климатические показатели этой территории. Представлены результаты зависимости состава гумуса исследуемых почв от климатических параметров, выявлены модели регрессии между отношением $C_{\text{зк}} : C_{\text{фк}}$ и увлажнением, а также получены аналогичные уравнения регрессии с учётом высоты местности над уровнем моря. Предложенные регрессионные модели адекватно описывают данные, о чём свидетельствуют статистические критерии и графические отчёты. Уравнения регрессии могут использоваться при оценке экологической обусловленности соотношения компонентов гумуса и для оценки их поведения в процессе изменения природной среды под влиянием как естественных, так и антропогенных причин.

В последнее время интерес к изучению гумуса почв вновь возрос. Это объясняется тем, что гумус является компонентом почв, который участвует практически во всех процессах, протекающих в экосистемах, выполняя широкий круг функций, обеспечивающих устойчивость во времени последних. Гумус выполняет также одну из главнейших функций, важных не только для экосистем и биосферы, но и антропосферы и связанного с ней человечества – функцию плодородия почв.

Активное замещение природных экосистем антропогенными, в том числе агроэкосистемами, привело к тому, что проблема сохранения и рационального использования почв во всё более меняющейся с помощью человека обстановке становится, несомненно, трудным и затратным делом.

При этом есть одна очень важная проблема, времени для реализации которой остается все меньше – это создание основы, с которой можно было бы сравнивать испытывающие антропогенные воздействия почвы, чтобы определить направленность

их изменения на той или иной территории, как регионального, так и локального масштаба.

Важным в этом отношении является вопрос экологической обусловленности признаков состава и свойств гумуса почв, с тем, чтобы, зная направленность воздействия и изменения условий функционирования системы гумусовых веществ, можно было прогнозировать поведение этой системы.

Горный Алтай – сложная с точки зрения сельского хозяйства территория России. В сельскохозяйственном производстве используются почвы межгорных котловин, но их формирование происходит при активном участии мелкозема, приносимого с других геоморфологических позиций, свойства которого обуславливаются локальным сочетанием экологических условий формирования почв.

Исходя из этого, существует необходимость адекватной оценки зависимости состояния гумуса почв (характеризующегося сильно выраженной чувствительностью по отношению к природной среде и способностью отражать её влияние) от

экологических условий, и, прежде всего, от климатических параметров.

Несмотря на многочисленность работ, которые посвящены изучению связей содержания и состава гумуса с гидротермическими и (или) биоклиматическими условиями [1–4], вопрос этот до сих пор окончательно не решен, поскольку не выявлены общие закономерности эколого-гумусовых связей. Д. С. Орлов и др. [3] показали, что содержание и состав гумуса верхних горизонтов автоморфных почв равнинной территории Европейской части России не имеют значимых коррелятивных связей с отдельными характеристиками климата, они лишь тесно связаны с периодом биологической активности (ПБА). В то же время для почв горных территории юга Сибири установлены связи состава гумуса с основными климатическими показателями не только на качественном, но и на количественном уровнях [5]. При этом выявлена их специфичность: гуминовые кислоты наиболее тесные связи имеют с температурными условиями ($r=0,70-0,72$), фульвокислоты – с количеством осадков ($r=0,75-0,77$), а соотношение этих компонентов тесно взаимосвязано со всеми основными показателями климата ($r=0,80-0,88$) [5].

И. А. Соколов [6] подчеркивал, что среди климатических характеристик, определяющих распределение почв в экологическом пространстве, первостепенную, определяющую роль играет увлажненность. Он указывал, что именно от соотношения влаги (количества выпадающих осадков) и тепла зависит увлажненность климата – характеристика, определяющая самое общее направление почвообразования и главные рубежи в педосфере и почвенно-экологическом пространстве [6]. Наряду с этим, на территориях с разной увлажненностью гумус почв будет вести себя при антропогенном воздействии по-разному. Поэтому важно оценить в количественном отношении зависимость состава гумуса от условий увлажнения, чтобы это послужило исходной позицией для дальнейшего исследования поведения гумуса в условиях изменения природной обстановки при антропогенном воздействии малоизученной в этом отношении территории Горного Алтая.

Цель данного исследования – выявление модели зависимости соотношения гумусовых веществ почв от условий увлажнения.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для решения поставленной задачи использовались данные оригинальных и литературных материалов по составу и соотношению гумусовых веществ гумусового горизонта современных почв Горного Алтая разных высотных поясов. База данных (объем выборки – 257 наблюдений) включает основные характеристики состава гумуса (состав гумуса определен по методу В. В. Пономаревой и Т. А. Плотниковой [7]), а также сведения об экологических условиях формирования каждого конкретного объекта. Оценки климатических параметров получены на основе информации метеостанций, обобщения материалов из научных статей, посвященных климату конкретных территорий, с учетом положения почв по высоте местности и экспозиции склона.

Для нахождения форм зависимостей гумусно-го соотношения от условий увлажнения в работе применялся регрессионный анализ – модуль интегрированной системы статистического анализа и обработки данных Statistica в среде Windows.

Стоит отметить, что климат Горного Алтая характеризуется как резко-континентальный с отчетливо выраженным контрастом между коротким теплым и более продолжительным холодным сезонами года, безморозный период практически отсутствует. Для него характерны очень большие годовые и суточные амплитуды температур.

Климатические характеристики различных частей Горной части Алтая чрезвычайно неоднородны и определяются целым рядом факторов, прежде всего географическим положением (Северо-Западный, Северо-Восточный, Центральный или Юго-Восточный Алтай) и особенностями рельефа (тектонические понижения или склоны хребтов различной экспозиции). Средняя температура июля в низкогорьях и ряде котловин составляет $16-18^{\circ}\text{C}$, на высоте 1000–1200 м $14-16^{\circ}\text{C}$, в высокогорье (около 3000 м) – около $6-8^{\circ}\text{C}$. Большие диспропорции наблюдаются в перераспределении осадков, количество которых резко убывает с запада на восток. Так, на наветренных склонах хребтов Центрального, Северо-Восточного и Северо-Западного Алтая выпадает 800–1500 мм осадков (местами до 2000 и более), а на территории Юго-Восточного Алтая – 250–300 мм.

Известно, что многие авторы [6, 8] делят педосферу на педокосм, или почвенный мир, аридного и педокосм гумидного почвообразования. В гумидном климате основное разнообразие на-

правлений почвообразования обусловлено различиями в почвообразующих породах, а в аридном – рельефом [8].

Согласно данным положением, исследуемая выборка почв представлена почвами аридного педокосма – мира аккумулятивных, насыщенных, нейтрально-щелочных, карбонатных или засоленных ксероморфных почв: темно-каштановые, каштановые, светло-каштановые, горные сухостепные, степные криоаридные; почвами гумидного педокосма – мира элювиальных, выщелоченных, кислых, ненасыщенных, гидроморфных

почв: горно-тундровые, горно-луговые альпийские и субальпийские, горно-мерзлотные дерново-таежные, горно-лесные бурые, а также почвами сбалансированного увлажнения: горно-лесные черноземовидные, чернозем выщелоченный и чернозем обыкновенный, для которых были определены необходимые среднестатистические показатели гумусного состояния почв и климатические характеристики исследуемых ландшафтов (табл. 1). Все эти почвы характеризуются типичными характеристиками как минеральной, так и органической части [9–11 и др.].

Таблица 1

Основные характеристики гумусного состояния в верхнем (0–10 см) слое почв и климатические условия их формирования

Почвы	Объем выборки	Содержание гумуса, %	$C_{гк} : C_{фк}$	Количество осадков	$K_{увл}$ по Иванову
<i>Гумидный педокосм</i>					
Горно-тундровые	20	$7,57 \pm 0,75$	$0,72 \pm 0,02$	870–1080	1,1–1,3
Горно-луговые альпийские и субальпийские	30	$8,40 \pm 1,04$	$0,68 \pm 0,035$	710–910	0,9–1,1
Горно-мерзлотные дерновые таежные	18	$10,01 \pm 2,53$	$0,53 \pm 0,03$	785–910	1,3
Горно-лесные бурые	23	$6,85 \pm 0,76$	$0,89 \pm 0,03$	720–856	1,0–1,2
<i>Педокосм сбалансированного увлажнения</i>					
Горно-лесные черноземовидные	12	$7,53 \pm 1,06$	$1,59 \pm 0,11$	480–510	1,2–1,3
Чернозем выщелоченный	31	$5,34 \pm 0,14$	$1,84 \pm 0,04$	520–620	0,9–1,2
Чернозем обыкновенный	24	$6,55 \pm 0,69$	$1,82 \pm 0,12$	300–430	0,8
Чернозем южный	9	$3,48 \pm 0,40$	$1,21 \pm 0,02$	314–328	0,7
<i>Аридный педокосм</i>					
Темно-каштановые	12	$5,95 \pm 2,10$	$1,35 \pm 0,03$	311–354	0,7
Каштановые	29	$2,29 \pm 0,35$	$0,76 \pm 0,05$	220–365	0,5–0,6
Светло-каштановые	34	$1,05 \pm 0,09$	$0,59 \pm 0,03$	240–370	0,4–0,5
Горные сухостепные	15	$4,13 \pm 0,53$	$0,77 \pm 0,05$	250–285	0,4

Для установления корреляций между исследуемыми показателями использовался множественный регрессионный анализ (корреляция промежуточная) [12]. Задача регрессионного анализа может быть сформулирована следующим образом: $Y = a_1 X_1 + a_2 X_2 + e$, где Y – зависимая переменная; a_1, a_2 – параметры регрессии; X_1, X_2 – независимые переменные; e – ошибки наблюдений.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Результаты оценки регрессии между отношением $C_{гк} : C_{фк}$ гумусо-аккумулятивного слоя – верхнего (0–10 см) слоя почв и коэффициентом увлажнения с учётом качественного фактора (педокосм) показали, что коэффициент множествен-

ной корреляции $R = 0,737$ (связь сильная), коэффициент детерминации $RI = 0,5431$ (т.е. построенная регрессия объясняет 54,31 % разброса значений $C_{гк} : C_{фк}$ относительно среднего); полученное значение критерия Фишера ($F = 151$), который, так же как и критерий Стьюдента (t-критерий), оценивает значимость уравнения регрессии в целом, и его уровень значимости $P = 0,000$ (уровень значимости представляет тот минимальный уровень, на котором можно отвергнуть полученные результаты, при особой точности фиксируется уровень $P = 0,005$ [12]) доказывают, что построенная регрессия высоко значима (табл. 2).

Искомая модель зависимости отношения $C_{гк} : C_{фк}$ от коэффициента увлажнения с учётом качественного фактора (педокосм) имеет вид:

$$C_{гк} : C_{фк} = 0,5307 + 0,5325 \cdot П - 0,7389 \cdot K_{увл},$$

где $C_{гк} : C_{фк}$ – отношение углерода гуминовых кислот к углероду фульвокислот; П – педокосм (1 – аридный, 2 – гумидный, 3 – сбалансированного увлажнения); $K_{увл}$ – коэффициент увлажнения по Иванову.

Для оценки адекватности модели использовались графические и статистические методы. Графические методы подразумевают исследование остатков построенной модели – разности значений наблюдаемых величин и величин, прогнозируемых с помощью модели. Малая разность этих значений, их хаотичное распределение и некоррелируемость, а также их подчинение нормальному закону распределения, т.е. подверженность распределения остатков воздействию очень большого числа независимых случайных факторов, – выполнение всех этих условий свидетельствует о том, что модель построена верно [13]. На гистограмме остатков (рис. 1) видно, что распределение остатков соответствует нормальному закону, остатки между собой не коррелируют ($r=0,08$), значит, можно заключить, что модель достаточно адекватно описывает данные.

Отдельно также оценивалась регрессия между отношением $C_{гк} : C_{фк}$ и коэффициентом увлажнения в выборках почв различных педокосмов: для аридного педокосма уравнение зависимости: $C_{гк} : C_{фк} = 1,9132 \cdot K_{увл}$, для гумидного педокосма: $C_{гк} : C_{фк} = 1,4101 - 0,6336 \cdot K_{увл}$, для почв сбалансированного увлажнения аналогичная регрессия оказалась статистически незначимой.

При определении регрессии между отношением $C_{гк} : C_{фк}$ и коэффициентом увлажнения с учётом высоты над уровнем моря получены следующие результаты (табл. 3): коэффициент множественной корреляции $R=0,5830$; коэффициент детерминации $RI=0,3540$ (построенная регрессия объясняет 35,4% разброса значений $C_{гк} : C_{фк}$ относительно среднего, это низкий показатель), однако значение критерия $F=64,63$ при уровне значимости $P=0,000$ доказывает статистическую значимость полученного уравнения регрессии.

Уравнение зависимости отношения $C_{гк} : C_{фк}$ от увлажнения с учетом высоты местности имеет следующий вид: $C_{гк} : C_{фк} = 1,4447 + 0,3015 \cdot K_{увл} - 0,0005 \cdot h$, где h – высота над уровнем моря (м); остальные обозначения – как в других уравнениях.

Таблица 2

Результаты множественного регрессионного анализа

Показатель	Коэффициенты регрессии	Стандартная ошибка	t-критерий	Уровень значимости (P)
Оценка свободного члена регрессии	0,5307	0,0616	8,6663	0,000
Педокосм (П)	0,5325	0,0307	17,310	0,000
$K_{увл}$	-0,7389	0,0808	-9,1448	0,000

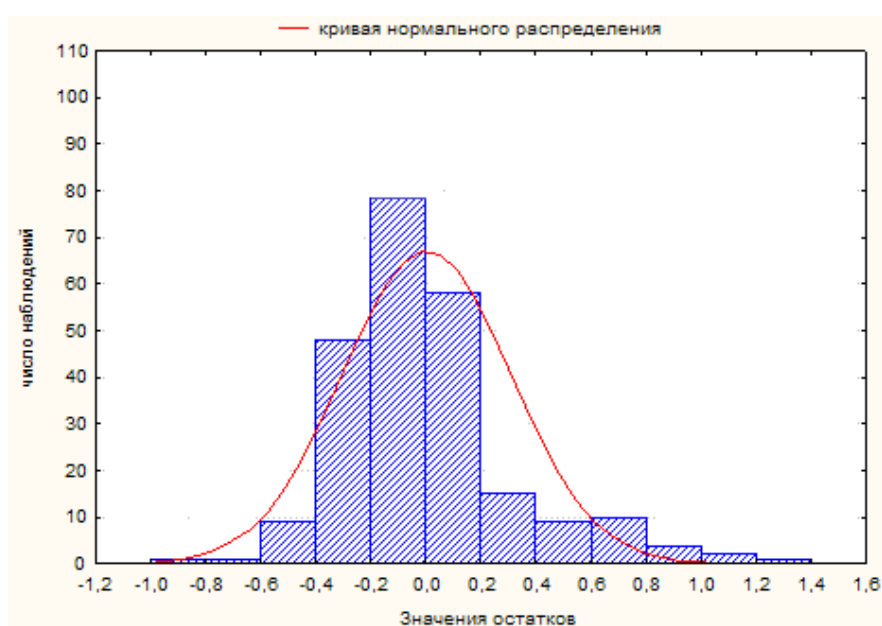


Рис. 1. Гистограмма остатков

Таблица 3

Результаты множественной регрессии зависимости отношения $C_{гк} : C_{фк}$ от увлажнения с учетом высоты местности

Показатель	Коэффициент регрессии	Стандартная ошибка	t-критерий	Уровень значимости (P)
Оценка свободного члена регрессии	1,4447	0,085	16,920	0,000
$K_{увл}$	0,3015	0,077	3,882	0,000
Высота над уровнем моря (h, м)	-0,0005	0,000	-11,293	0,000

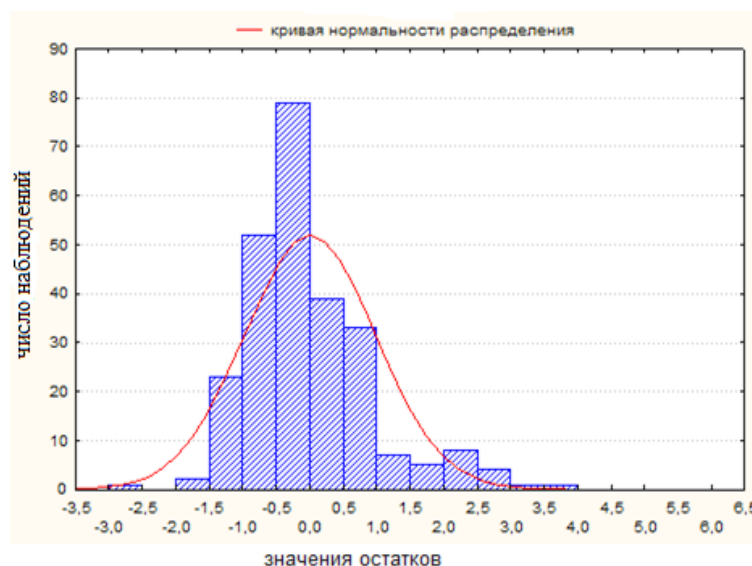


Рис. 2. Гистограмма остатков в модели зависимости отношения $C_{гк} : C_{фк}$ от коэффициента увлажнения с учётом высоты над уровнем моря

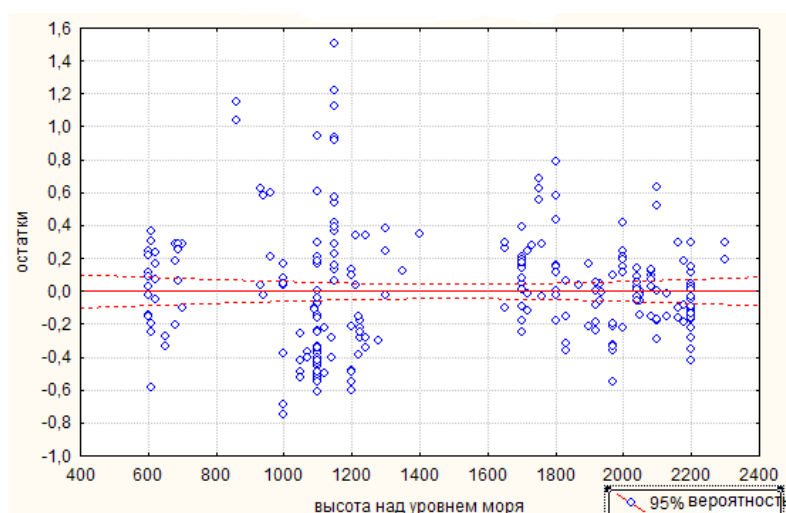


Рис. 3. График остатков в модели зависимости отношения $C_{гк} : C_{фк}$ от коэффициента увлажнения с учётом высоты над уровнем моря

На рис. 2 показано, что остатки подчиняются закону нормальности распределения, поэтому предположение о нормальном распределении ошибок выполнено. График распределения остатков (рис. 3) свидетельствует о том, что они хаотично разбросаны относительно прямой и не коррелируют между собой.

Отсюда можно заключить, что, несмотря на недостаточную долю дисперсии зависимой переменной, которая объясняется рассматриваемой зависимостью, модель адекватно описывает данные.

Таким образом, предлагаемые уравнения регрессии могут использоваться при оценке экологической обусловленности соотношения компо-

нентов гумуса и в дальнейшем – для оценки их изменения в процессе изменения природной среды под влиянием как естественных, так и антропогенных причин. Следует подчеркнуть, что полученные связи будут также способствовать установлению общих экологических закономерностей почвообразования в горных условиях, диагностике палеоприродной среды и палеореконструкции.

ВЫВОДЫ

1. Среди экологических условий статистически значимое наибольшее влияние на гумус почв Горного Алтая оказывает увлажнённость, для разных почвенных миров получены максимально контрастные уравнения моделей зависимости типа гумуса от коэффициента увлажнения: для аридного – $C_{гк} : C_{фк} = 1,9132 \cdot K_{увл}$, для гумидного – $C_{гк} : C_{фк} = 1,4101 - 0,6336 \cdot K_{увл}$.

2. Такой экологический фактор, как высота над уровнем моря, наряду с увлажнением достоверно влияет на тип гумуса исследуемых почв ($C_{гк} : C_{фк} = 1,4447 + 0,3015 \cdot K_{увл} - 0,0005 \cdot h$): с увеличением высоты над уровнем моря на 1 м значение отношения $C_{гк} : C_{фк}$ уменьшается на 0,0005.
3. С помощью полученных моделей зависимости гумуса почв от рассматриваемых экологических факторов можно, учитывая ошибку предсказания и её интервал, получить точечную оценку отношения $C_{гк} : C_{фк}$ в определённых условиях увлажнения, что способствует зонированию территории и выявлению наиболее благоприятных локальных районов для земледелия и отдельных отраслей растениеводства.
4. Полученные модели могут использоваться при установлении общих экологических закономерностей почвообразования в горных условиях, а также при диагностике палеоприродной среды и палеореконструкциях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Волобуев В. Р. Почвы и климат. – Баку: Изд-во АН АзССР, 1953. – 259 с.
2. Кононова М. М. Органическое вещество почвы: его природа, свойства и методы изучения. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – 314 с.
3. Орлов Д. С., Бирюкова О. Н., Рыжова И. М. Зависимость запасов гумуса от ПБА // Почвоведение. – 1997. – № 7. – С. 818–822.
4. Дергачева М. И., Гончарова Н. В., Феденева И. Н. Гумус современных почв Горного Алтая как основа диагностики природной среды и климатов прошлого // Основные закономерности глобальных и региональных изменений климата и природной среды в позднем кайнозое Сибири. – Новосибирск: Изд-во ИАЭТ СО РАН, 2002. – С. 122–133.
5. Дергачёва М. И., Рябова Н. Н. Коррелятивные связи состава гумуса и климатических показателей в условиях горных территорий юга Сибири // Вестн. Том. гос. ун-та. – 2005. – № 15. – С. 68–71.
6. Соколов И. А. Теоретические проблемы генетического почвоведения. – Новосибирск: Гуманитар. технологии, 2004. – 288 с.
7. Пономарева В. В., Плотникова Т. А. Методика и некоторые результаты фракционирования гумуса черноземов // Почвоведение. – 1968. – № 11. – С. 104–117.
8. Соколов И. А., Конюшков Ф. Е. О законах генезиса и географии почв // Почвоведение. – 2002. – № 7. – С. 777–788.
9. Рябова Н. Н. Эколого-гумусовые связи в горных почвах экстроконтинентальных регионов юга Сибири: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Томск, 2005. – 21 с.
10. Дергачева М. И., Ковалева Е. И., Рябова Н. Н. Гумус почв Горного Алтая // Почвоведение. – 2007. – № 12. – С. 1416–1421.
11. Гончарова Н. В. Состав и свойства гумуса как основа диагностики условий палеопедогенеза в Горном Алтае: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Томск, 2001. – 20 с.
12. Дмитриев Е. А. Математическая статистика в почвоведении. – М.: МГУ, 2009. – 300 с.
13. Боровиков В. П. STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере. – 2-е изд. – СПб.: Питер, 2003. – 688 с.

1. Volobuev V. R. *Pochvy i klimat*. Baku: Izd-vo AN AzSSR, 1953. 259 p.
2. Kononova M. M. *Organicheskoe veshchestvo pochvy: ego priroda, svoystva i metody izucheniya*. Moscow: Izd-vo AN SSSR, 1963. 314 p.

3. Orlov D. S., Biryukova O. N., Ryzhova I. M. *Zavisimost' zapasov gumusa ot PBA* [Pochvovedenie], no. 7 (1997): 818–822.
4. Dergacheva M. I., Goncharova N. V., Fedeneva I. N. *Gumus sovremennykh pochv Gornogo Altaya kak osnova diagnostiki prirodnoy sredy i klimatov proshlogo* [Osnovnye zakonomernosti global'nykh i regional'nykh izmeneniy klimata i prirodnoy sredy v pozdnem kaynozoe Sibiri]. Novosibirsk: Izd-vo IAEt SO RAN, 2002. pp. 122–133.
5. Dergacheva M. I., Ryabova N. N. *Korrelyativnye svyazi sostava gumusa i klimaticheskikh pokazateley v usloviyakh gornykh territoriy yuga Sibiri* [Vestnik Tom. gos. un-ta], no. 15 (2005): 68–71.
6. Sokolov I. A. *Teoreticheskie problemy geneticheskogo pochvovedeniya*. Novosibirsk: Gumanitar. tekhnologii, 2004. 288 p.
7. Ponomareva V. V., Plotnikova T. A. *Metodika i nekotorye rezul'taty fraktsionirovaniya gumusa chernozemov* [Pochvovedenie], no. 11 (1968): 104–117.
8. Sokolov I. A., Konyushkov F. E. *O zakonakh genezisa i geografii pochv* [Pochvovedenie], no. 7 (2002): 777–788.
9. Ryabova N. N. *Ekologo-gumusovye svyazi v gornykh pochvakh ekstrakontinental'nykh regionov yuga Sibiri* [avtoref. dis. ... kand. biol. nauk]. Tomsk, 2005. 21 p.
10. Dergacheva M. I., Kovaleva E. I., Ryabova N. N. *Gumus pochv Gornogo Altaya* [Pochvovedenie], no. 12 (2007): 1416–1421.
11. Goncharova N. V. *Sostav i svoystva gumusa kak osnova diagnostiki usloviy paleopedogeneza v Gornom Altaye* [avtoref. dis. ... kand. biol. nauk]. Tomsk, 2001. 20 p.
12. Dmitriev E. A. *Matematicheskaya statistika v pochvovedenii*. Moscow: MGU, 2009. 300 p.
13. Borovikov V. P. *STATISTICA. Iskustvo analiza dannykh na komp'yutere*. SPb.: Piter, 2003. 688 p.

HUMUS CONTENT OF SOIL IN ALTAI MOUNTAINS AND ITS ENVIRONMENTAL CONDITION

Ryabova N. N., Dergacheva M. I., Zakharova E. G.

Key words: climate, soil moistening, humus, environmental conditions, pedocosm, paleo-environment, paleo-reconstruction, relation of humic substances, Altai Mountains, model, regression.

Abstract. The article describes the function of soil fertility humus performs; the function is important for ecosystems, biosphere and anthroposphere as well. Humus content of soil is revealed in different ways when experiencing anthropogenic influence in the areas differed in climate characteristics. The paper reveals necessity in appropriate estimation of relation between humus content of soil and environmental conditions. The possibility to forecast humus substances reaction by means of taking into consideration the effect goal and changing conditions of the system operation results in urgency of environmental conditions for the features of humus content of soil. The paper investigates the soils of different altitudinal belts moistened in arid, humid and balanced ways. The authors characterize humus content of soil in Altai Mountains which is very complicated area for agriculture. They study the fundamental climate characteristics of the territory; reveal the results of relation between humus soil content and climate characteristics; represent the regression models of $C_{\text{гк}}$: $C_{\text{фк}}$ relation and moistening; and reveal regression equation on the basis of altitude. The regression models effectively describe the data which is proved by statistic criteria and diagrams. The regression equations can be applied when estimating environmental conditions of relation between humic components and in order to estimate them in natural environment influenced by natural and anthropogenic factors.