

реальной доступности технологии другого уровня — технологии анализа космических радарных и оптических изображений [5].

#### **Библиографический список**

1. Атлас Алтайского края. М.; Барнаул, 1978. Т.1. 222 с.
2. Атлас Алтайского края / Комитет геодезии и картографии СССР. М., 1991. 35 с.
3. Акуленко Ю.Н. Гидрогеолого-мелиоративные особенности Бурлинской обводнительно-оросительной системы / Ю.Н. Акуленко, М.И. Рыжковский, П.А. Ляшенко // Гидрогеологические и инженерно-геологические процессы на мелиоративных системах степной зоны Сибири. Красноярск, 1978. Вып. 10. С. 47-55.
4. Алексеенко В.А. Экологическая геохимия / В.А. Алексеенко. М.: Логос, 2000. 627 с.
5. Байкалова Т.В. Геоинформационные технологии анализа многовременных космических радарных и оптических изображений для распознавания геоморфологических объектов и растительных сообществ / Т.В. Байкалова: автореф. дис. на соиск. уч. степ. к.г.н. Барнаул, 2002. 21 с.
6. Барышникова О.Н. Влияние региональных проявлений глобальных климатических изменений и деятельности человека на развитие опустынивания юга Западной Сибири / О.Н. Барышникова, Н.Ф. Харламова, Ю.Б. Кирста // Кулундинская степь: прошлое, настоящее, будущее: матер. III Междунар. науч.-практ. конф. Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2003. С. 137-147.
7. Жерелина И.В. Нормативно-правовое регулирование лесопользования в бассейне Бурлы / И.В. Жерелина, Н.В. Стоящева // Кулундинская степь: прошлое, настоящее, будущее: матер. III Междунар. науч.-практ. конф. Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2003. С. 331-337.
8. Извекова Людмила. Бурла - река незаменимая / Интервью с В.Г. Чернобаевым — главным инженером проекта Бурлинской водной системы // Алтайская правда. 2003. № 24. 12 сентября. 4 с.
9. Казанцева Л.Г. Ландшафтно-геохимические особенности пойменных геосистем верхней Оби / Л.Г. Казанцева: автореф. дис. на соиск. уч. степ. к.г.н. Иркутск, 2003. 20 с.
10. Казанцева Л.Г. Районирование поймы верхней Оби / Л.Г. Казанцева // Тяжелые металлы, радионуклеиды и элементы — биофилы в окружающей среде: доклады Междунар. науч.-практ. конф. (7-9 октября, 2004 г.). Семипалатинск, 2004. Т. 1. С. 171-177.
11. Миркулов Иван. Кирилловская дамба. Почему она стала яблоком раздора // Алтайская правда. 2003. № 157. 17 июня. 4 с.
12. Пурдик Л.Н. Ландшафтно-экологический анализ гидромелиоративного освоения бассейна р. Бурла / Л.Н. Пурдик, И.В. Жерелина // VII научное совещание по прикладной географии: тез. докл. Иркутск, 2001. С. 57-59.
13. Перельман А.И. Геохимия ландшафта / А.И. Перельман. М.: Высш. шк., 1975. 341 с.
14. Перельман А.И. Геохимия ландшафта / А.И. Перельман, Н.С. Касимов. М.: Астрей-2000, 1999. 768 с.
15. Плынов Б.Б. Избранные труды / Б.Б. Плынов. М.: Изд-во АН СССР, 1956. 750 с.
16. Снытко В.А. Ландшафтно-геохимический анализ геосистем КАТЭКа / В.А. Снытко, Ю.М. Семенов, А.В. Мартынов. Новосибирск: Наука, 1987. 110 с.



**УДК 631.4**

**Л.М. Татаринцев**

### **ПРИРОДНАЯ ДИНАМИКА ФИЗИЧЕСКИХ И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВ**

Любое изменение состояния почвы как природной системы носит детерминированный характер, т.е. изменение почвы в целом, ее свойств вызывается различными причинами — естественными и антропогенными. Все причины (факторы) динамики почвы подразделяются на две группы: «внешние» по отношению к почве и «внут-

ренние», связанные с «саморазвитием» почвы [3, 4]. В первом случае факторы эволюции физического состояния выступают как независимые причины его изменения, во втором они зависят от состояния (устойчивости) почвы ввиду наличия обратной связи между факторами почвообразования и почвой [5].

Решающее значение на естественную динамику почв юга Западной Сибири оказывал и продолжает оказывать климат. В данном сообщении оценивается прямое влияние элементов климата (влаги и тепла) на физические параметры почвы. Прямое влияние климата проявляется в непосредственном воздействии его элементов на увлажнение-иссушение почвы. При увлажнении происходит увеличение (набухание) объема почвы, при иссушении, наоборот, — уменьшение объема (усадка). Изменение объема почвы сопровождается динамичностью ее физического состояния, в частности, таких его физических параметров как водопроницаемость, плотность, дифференциальная пористость, доступность влаги растениям и т.п. Процесс увлажнения-иссушения носит режимный (циклический) характер. При этом наблюдается суточная, сезонная и многолетняя динамика влажности, а следовательно, с такой же циклическостью во времени будут изменяться динамические параметры физического состояния почвы.

**Объекты и методика исследования**

В качестве объектов исследования служили зональные почвы: каштановые, черноземы южные и обыкновенные умеренно-засушливой и колючной степи, черноземы выщелоченные, типичные для предгорий Алтая. Изучение физических свойств проводили по общепринятым методам [1]. При исследовании динамики физических свойств почвы сопряженно определяли ее влажность. Затем с учетом гранулометрического состава, содержания гумуса изучали характер взаимосвязей между различными физическими параметрами почвы и ее влажностью, используя для этой цели информационно-логический анализ [6].

Чтобы изучить характер связи между физическим свойством и влажностью, важно исключить (или свести до минимума) влияние других факторов, в частности, гранулометрического состава и содержания

гумуса. Поэтому вначале определяли наиболее вероятное количество гумуса в почве и содержание частиц мельче 0,01 мм (физической глины). Так, для супесчаных почв оказалось, что наиболее вероятное содержание физической глины равно 15-20%, а количество гумуса - 1,0-1,5%. Затем группировали экспериментальные данные, отвечающие указанным параметрам. Аналогичным образом определено специфичное содержание гумуса и физической глины в легко-, средне- и тяжелосуглинистых разновидностях. Внутри таких выборок находили характер зависимости между физическим свойством и влажностью.

Ниже приведем анализ некоторых взаимосвязей, в частности, содержания агрегатов при сухом просеивании, плотности сложения, пористости, теплофизических свойств (объемной теплоемкости, тепло- и температуропроводности) в зависимости от влажности с учетом их гранулометрического состава и содержания гумуса.

**Результаты и их обсуждение**

Наибольшее количество глыбистых агрегатов при одинаковом интервале увлажнения наблюдается в легкосуглинистых почвах, наименьшее — в глинистых. Среднесуглинистые и тяжелосуглинистые почвы по содержанию глыбистых агрегатов занимают промежуточное положение. Специфичные значения содержания глыбистых агрегатов крупнее 10 мм в зависимости от влажности показаны на рисунке 1. Выход глыбистых агрегатов в легкосуглинистых разновидностях возрастает по мере снижения влажности, при которой отбираются образцы на изучение агрегатного состава. Влияние процесса иссушения на образование макроагрегатов агрономически ценного размера ограничено вследствие того, что при усадке песчаные и пылеватые частицы, которыми обогащены легкосуглинистые почвы, образуют жесткий каркас, препятствующий крошению почвенной массы [2].

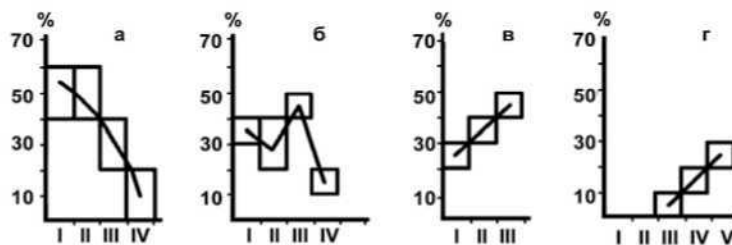


Рис. 1. Специфические состояния содержания глыбистых агрегатов более 10мм (сухопросеивание) в зависимости от влажности почвы: I - менее ВЗ, II - ВЗ-ВРК, III - ВРК-НВ, IV- более НВ; а - легкосуглинистые, б - среднесуглинистые, в - тяжелосуглинистые, г - глинистые

В почвах глинистого гранулометрического состава (предгорья Алтая), обогащенных гидрослюдами, монтмориллонитом, значительным количеством оксидов железа и алюминия, при иссушении и усадке идет активное образование педов зернистой и мелкоореховатой формы. Это обусловлено тем, что внутривпедные связи гораздо прочнее, чем по границе педов. По этой причине в почвах предгорий Алтая не обнаруживается большого количества глыб, столь характерных для почв легко- и среднесуглинистого гранулометрического состава. В тяжелосуглинистых почвах сохраняется зависимость, обнаруженная для глинистых почв, но последние по сравнению с первыми обладают меньшей способностью к глыбообразованию.

В легкосуглинистых почвах «оптимальные» условия для образования глыб наблюдаются при влажности ниже ВРК, в среднесуглинистых глыбообразование происходит в интервале увлажнения от ВРК до НВ. При этом же диапазоне увлажнения создаются наилучшие условия для образования глыб в тяжелосуглинистых почвах. В глинистых почвах глыбы образуются при увлажнении выше НВ. При уменьшении количества гумуса в почве способность к глыбообразованию растет, причем «оптимум» глыбообразования смещается в область меньших значений влажности.

По специфическим значениям плотности установлено (рис. 2), что в супесчаных почвах зависимость плотности от влажности носит линейный характер, в более тяжелых (легко-, средне- и тяжелосуглинистых) — экспоненциальный.

Плотность почвы закономерно уменьшается с увеличением влажности. Следует подчеркнуть, что в легко-, средне- и тяжелосуглинистых почвах уменьшение плотно-

сти происходит в интервале увлажнения от МГ до ВРК, при увлажнении почвы выше ВРК плотность ее не меняется. Эта закономерность хорошо совпадает с кривыми, отражающими зависимость усадки (объема) почвы от влажности [8]. В интервале влажности НВ-ВРК, соответствующем этапу структурной усадки, изменение плотности практически не происходит. Наибольшее изменение (увеличение) плотности наблюдается при снижении влажности почвы от уровня ВРК до ВЗ. Этот интервал увлажнения соответствует этапам нормальной и остаточной усадки почвы. При дальнейшем иссушении почвы, вследствие отсутствия усадки, ее плотность не изменяется. В супесчаных почвах этапы усадки не выражены, поэтому по мере иссушения почвы от НВ до МГ наблюдается постепенное увеличение плотности почвы. Увеличение плотности почвы по мере ее иссушения обусловлено повышением плотности агрегатов и уменьшением объема почвы в целом [7].

В супесчаных почвах при изменении влажности от МГ до ВРК плотность уменьшается на  $0,1 \text{ г/см}^3$ , в легкосуглинистых — на  $0,2 \text{ г/см}^3$ , средне- и тяжелосуглинистых — на  $0,3 \text{ г/см}^3$ . Скорость изменения плотности почвы оценивали по удельному изменению плотности, определяемому как отношение изменения плотности ( $d_v$ ) к изменению влажности ( $W$ ). Расчет удельного изменения плотности (скорости изменения) проводили для интервала влажности МГ-ВРК, т.е. для тех границ, в которых наблюдается наибольшее изменение плотности. Скорость изменения плотности  $d_v/W$  для супесчаных почв равна  $0,01 \text{ г/см}^3$  на один массовый процент влаги, для легкосуглинистых —  $0,013 \text{ г/см}^3$ , для средне- и тяжелосуглинистых —  $0,02 \text{ г/см}^3$ .

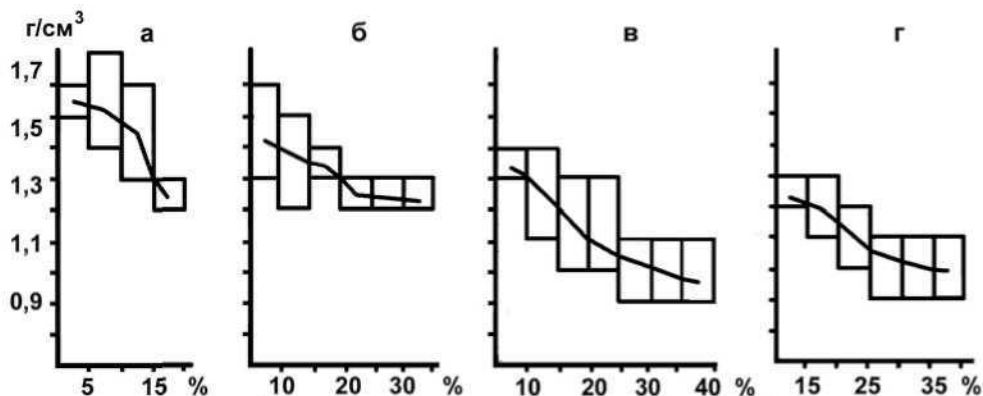


Рис. 2. Специфические состояния плотности пахотного слоя в зависимости от влажности почвы:

а - супесчаные; б - легкосуглинистые; в - среднесуглинистые; г - тяжелосуглинистые почвы

При одинаковой влажности почвы с большей гумусностью имеют меньшую плотность, чем с меньшей гумусностью. Скорость изменения плотности почвы во всем диапазоне увлажнения изменяется от 0,02 г/см<sup>3</sup> в слабогумусированных черноземах до 0,015 г/см<sup>3</sup> в малогумусных и 0,013 г/см<sup>3</sup> в среднегумусных. Это связано с тем, что с повышением гумусности почвы возрастает жесткость связей между почвенными частицами, а следовательно, уменьшается скорость изменения объема (усадки) почвы и скорость уплотнения (разуплотнения) в связи с изменением степени увлажнения. Наше утверждение находится в полном соответствии с теорией усадки-набухания почвы в зависимости от увлажнения-иссушения [2, 8].

Скорость изменения плотности от влажности при прочих равных условиях (гранулометрический состав, содержание гумуса) зависит от глубины слоя почвы, а также сельскохозяйственной культуры (рис. 3).

Скорость изменения плотности в зависимости от влажности возрастает с глубиной. Так, удельное изменение плотности в интервале влажности ВРК-НВ (от 24 до 33%) под кукурузой составляет в слое 0-10 см 0,01 г/см<sup>3</sup>, в слое 10-20 см - 0,014 г/см<sup>3</sup> и слое 20-30 см — 0,018 г/см<sup>3</sup>. Аналогичная закономерность сохраняется под горохово-овсяной смесью. Под люцерной скорость уплотнения по мере иссушения в слоях 10-20 и 20-30 см одинаковая, но выше, чем в слое 0-10 см, а также больше, чем в аналогичных слоях под кукурузой и горохово-овсяной смесью.

Изменение плотности сложения в связи с динамикой влажности сопровождается одновременным изменением во времени общей пористости и дифференциальной порозности. При усадке и уплотнении почвы изменяется не только общий объем пор, но и дифференциальная порозность (или соот-

ношение пор разных категорий). Изменение соотношения пор происходит за счет уменьшения объема капиллярной и воздухоносной порозности (табл.). При высыхании почвы до ВЗ порозность аэрации в легко- и среднесуглинистых почвах остается в пределах оптимальной, в тяжелосуглинистых почвах общий объем воздухоносных пор опускается до критической величины (15% объема) и даже ниже.

Для выявления общих закономерностей динамики теплофизических свойств почв в зависимости от сезонной динамики влажности материал, полученный С.В. Макарычевым, обработан с помощью информационно-логического анализа по методике, предложенной Ю.Г. Пузаченко, А.В. Мошкиным [6].

Вся выборка данных составила 94-103 значения.

Прямой линейной связью характеризуется зависимость теплоемкости от влажности почвы (рис. 4 а). Зависимость коэффициента теплопроводности от влажности подчиняется закону насыщения (рис. 4 б). Коэффициент температуропроводности зависит от тех же факторов (рис. 4 в), которые влияют на теплоемкость и теплопроводность, тем не менее его зависимость от влажности имеет свою специфику.

Судя по специфическим значениям, определенным с помощью информационного анализа, теплоемкость в диапазоне влажностей, чаще всего встречающихся в течение вегетационного периода может колебаться от  $1,4 \times 10^6$  до  $3,6 \times 10^6$  Дж/м<sup>3</sup> · К, или возрастать в 2,5 раза. В том же диапазоне влажностей теплопроводность меняется с 0,2 до 1,5 Вт/м · К, т.е. в 7,5 раз. Температуропроводность в естественном диапазоне увлажнения может увеличиваться от  $0,2 \times 10^6$  до  $0,65 \times 10^6$  м<sup>2</sup>/с, или более чем в 3 раза.

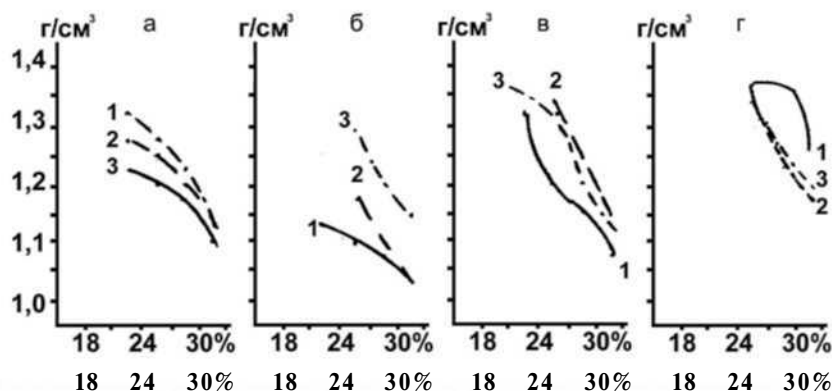
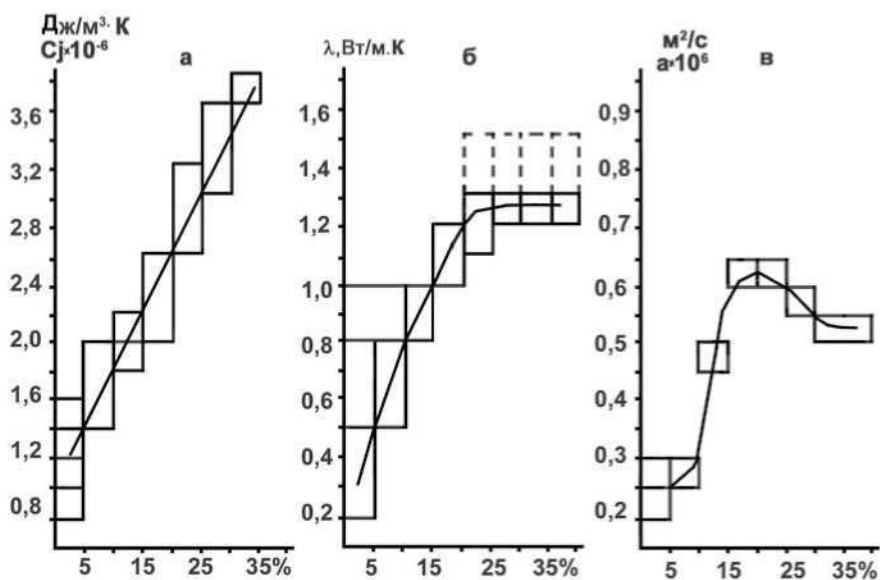


Рис. 3. Зависимость плотности чернозёма выщелоченного тяжелосуглинистого от влажности в слое 0-10 см (1), 10-20 см (2), 20-30 см (3) под кукурузой (а), горохово-овсяной смесью (б), люцерной 1-го (в) и 2-го годов (г) пользования

*Изменение дифференциальной порозности в зависимости от влажности, % объёма*

Степень увлажнения	Порозность			
	общая	занятая физически связанной влагой	капиллярная	воздухоносная
<b>Легкосуглинистые</b>				
< ВЗ	47-51	8-9	22-23,5	16-20
ВЗ-ВРК	51-55	8-9	23,5-25	20-22
ВРК-НВ	51-55	7,5-8	23,5-25	20-22
> НВ	55-60	7,0-7,5	25-27	22-25
<b>Среднесуглинистые</b>				
< ВЗ	51-55	11-12	23-25	16-20
ВЗ-ВРК	51-55	11-12	23-25	16-20
ВРК-НВ	55-58	10-11	25-27	19-22
> НВ	58-62	9-10	27-29	21-25
<b>Тяжелосуглинистые</b>				
< ВЗ	51-55	15-16	24-26	11-15
ВЗ-ВРК	55-58	14-15	26-28	14-17
ВРК-НВ	58-62	13-14	28-33	16-20
> НВ	62-65	11-13	30-32	19-22



*Рис. 4. Специфические состояния объёмной теплоёмкости (а), теплопроводности (б) и температуропроводности (в) в зависимости от влажности почвы*

Степень изменения теплофизических свойств от влажности зависит от других почвенных факторов: гранулометрического состава, плотности почвы и содержания гумуса. По мере утяжеления гранулометрического состава закономерно возрастает объёмная теплоёмкость. При этом скорость изменения величины объёмной теплоёмкости с изменением влажности почвы в песчаных, супесчаных, легко- и среднесуглинистых разновидностях ниже, чем в тяжело-суглинистых и глинистых.

Темпы изменения объёмной теплоёмкости при увеличении влажности почвы обычно более высокие при плотном сложении почв, чем при рыхлом. Наименьшая теплоёмкость характерна для слабогумусированных почв. По мере увеличения содержания гумуса в почве ее теплоёмкость постепенно растет.

Качественный характер изменения тепло- и температуропроводности в почвах разного гранулометрического состава от влажности одинаков, но в горизонтах легкого гранулометрического состава коэффициенты

тепло- и температуропроводности растут быстрее и достигают наибольших значений при меньшем увлажнении, чем в горизонтах более тяжелого гранулометрического состава. Подъём и спад коэффициентов тепло- и температуропроводности почвы с ростом влажности в горизонтах песчаного и супесчаного гранулометрического состава происходит резко и в более узком диапазоне влажности, чем в высоко дисперсных суглинистых и глинистых горизонтах.

Увеличение плотности и уменьшение пористости почвы меняют условия молекулярного переноса вещества и энергии, что сопровождается уменьшением коэффициентов тепло- и температуропроводности. При этом наибольшая скорость изменения коэффициентов тепло- и температуропроводности с изменением влажности отмечается в менее плотной, а наименьшая — в плотной почве.

Влияние влажности на коэффициенты тепло- и температуропроводности зависит от гумусности почвы. При содержании гумуса в почвах ниже 1% тепло- и температуропроводность изменяется очень слабо как при низких, так и высоких уровнях увлажнения. Эту закономерность можно объяснить строением порового пространства. При микроморфологических исследованиях установлено, что при низком содержании гумуса в почве образуется много мелких и замкнутых пор, которые практически не участвуют в переносе тепла при пародиффузионном механизме. Теплопередача осуществляется преимущественно через большое количество контактов между элементарными почвенными частицами, которые препятствуют переносу тепла, особенно при высоком увлажнении почвы.

При увеличении количества гумуса с 2 до 5% наблюдается повышение величин тепло- и температуропроводности и их более резкое изменение в зависимости от влажности. Дальнейшее повышение гумусности почвы сопровождается уменьшением величин тепло- и температуропроводности и снижением темпов изменения этих параметров от степени увлажнения почвы.

### **Выводы**

1. Естественная (природная) динамика физического состояния происходит под контролем гидротермических условий. При этом наибольшая сезонная динамика физического состояния пахотного горизонта в существующем диапазоне увлажнения (при

прочих равных условиях) отмечается в тяжелосуглинистых почвах предгорий Алтая.

2. Наибольшее изменение плотности сложения, дифференциальной порозности, теплофизических характеристик наблюдается в интервале увлажнения ВЗ-ВРК. Самая малая амплитуда физических параметров характерна для каштановых почв, в которых наблюдается невысокая контрастность влажности пахотного горизонта в течение вегетационного периода.

3. В результате сезонной динамики физических свойств почв (большая часть засушливого периода) почвенно-физические условия существенно отклоняются от оптимальных, что значительно снижает продуктивность зерновых. В связи с этим необходимо осуществлять комплекс мероприятий, направленных на поддержание почвенно-физических условий в границах, которые обеспечивают высокий урожай.

### **Библиографический список**

1. Вадюнина А.Ф. Методы исследования физических свойств почв / А.Ф. Вадюнина, З.А. Корчагина. М.: Агропромиздат, 1986. 415 с.
2. Воронин А.Д. Основы физики почв / А.Д. Воронин. М.: Изд-во МГУ, 1986. 244 с.
3. Козловский Ф.И. Современные естественные и антропогенные процессы эволюции почв / Ф.И. Козловский. М.: Наука, 1991. 196 с.
4. Корсунов В.М. Пространственная организация почвенного покрова / В.М. Корсунов, Е.Н. Красеха. Новосибирск: Наука СО, 1990. 199 с.
5. Кремер А.М. Неоднородности почвенного покрова как самоорганизующиеся системы / А.М. Кремер // Закономерности пространственного варьирования свойств почв и информационно-статистические методы их изучения. М.: Наука, 1970. С. 68-80.
6. Пузаченко Ю.Г. Информационно-логический анализ в медико-биологических исследованиях / Ю.Г. Пузаченко, А.В. Мошкин // Итоги науки. Мед. география. М., 1969. Вып. 3. С. 5-73.
7. Татаринцев Л.М. Физическое состояние основных пахотных почв юго-востока Западной Сибири / Л.М. Татаринцев: дис. д-ра биол. наук. Новосибирск, 1993. 368 с.
8. Stürck G.B. Some aspects of soil shrinkage and effect of cracking upon water entry into the soils / G.B. Stürck // Austr. J Agric. Res. 1954. P. 279-290.

