

УДК 539.165/166

РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИИ РАДИАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ *

В.С. Яковлева¹, П.М. Нагорский²

¹ Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
634050, г. Томск, пр. Ленина 30,

² Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН,
634055, г. Томск, пр. Академический, 10 / 3.

E-mail: vsyakovleva@tpu.ru

В работе изложены и проанализированы результаты мониторинга метеорологических и радиационных величин в Томской обсерватории радиоактивности и ионизирующих излучений. Показаны преимущества новой технологии радиационного мониторинга, включающей исследование вертикальных распределений радиационных величин. По результатам анализа данных радиационного мониторинга произведена проверка адекватности существующих моделей переноса изотопов радона в грунте и атмосфере применительно к городской среде.

Ключевые слова: радиационный мониторинг, технология, ионизирующее излучение, радон, грунт, атмосфера

© Яковлева В.С., Нагорский П.М., 2015

MSC 81V35

THE DEVELOPMENT OF RADIATION MONITORING TECHNOLOGY FOR URBAN ENVIRONMENT

V.S. Yakovleva¹, P.M. Nagorskiy²

¹ National Research Tomsk Polytechnic University, 634050, Tomsk, Lenin st., 30 Russia,

² Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, 634055, Tomsk,
Akademicheskaya st., 10 / 3., Russia

E-mail: vsyakovleva@tpu.ru

The results of monitoring of meteorological and radiation parameters in Tomsk Observatory of Radioactivity and Ionizing Radiation are presented and analyzed in this work. The advantages of new radiation monitoring technology including the investigation of radiation parameters vertical profiles are presented. The verification of existing soil and atmosphere radon isotopes transport models were conducted for urban environment with help of analysis results of radiation monitoring data.

Key words: radiation monitoring, technology, ionizing radiation, radon, soil, atmosphere

© Yakovleva V.S., Nagorskiy P.M., 2015

*Работа выполнена при поддержке ФЦП №14.575.21.0105.

Введение

Замечательные индикаторные свойства радионуклидов и ионизирующих излучений известны и активно используются с давних времен для получения новых знаний о динамических процессах, происходящих в атмосфере и литосфере, совершенствования моделей переноса газов и аэрозолей, а также в целях прогноза опасных явлений природного и техногенного характера. Высока роль ионизирующей радиации и естественной радиоактивности, особенно радиоактивного газа радон, в радиоэкологии, сейсмологии, физике приземного слоя атмосферы, строительстве. В связи с этим научными коллективами и государственными структурами производят радиационный мониторинг приземной атмосферы и исследование динамики активности некоторых радионуклидов в приземной атмосфере и грунте.

К сожалению, основным направлением контроля радиационной обстановки до сих пор являлась искусственная радиоактивность, вызванная испытаниями ядерного оружия, техногенными авариями и технологическими процессами. Поэтому, особое внимание уделялось только мониторингу γ -фона. Контролем вариаций характеристик полей других видов ионизирующих излучений (α -, β -излучения) практически не занимались, что объясняли их низкой проникающей способностью, соответственно информативностью. Мониторингом почвенного радона и плотности потока радона с поверхности земли занимаются, в основном, с целью прогноза землетрясений, либо, эпизодически в радиоэкологических и геоэкологических изысканиях перед началом строительства.

Научным коллективом [1] был разработан комплексный подход к радиационному мониторингу, основной «изюминкой» технологии которого было изучение вертикального разреза характеристик полей ионизирующих излучений (ИИ) и радона в системе грунт-атмосфера. Целью настоящей работы являлось выявление преимуществ в исследовании вертикальных распределений радиационных величин по сравнению с традиционным подходом, при котором исследуется только одна высота (глубина), или одна радиационная величина.

Одной из задач исследования являлась разработка методики тематической обработки архивных данных мониторинга метеорологических и радиационных величин, которая определяется областью применения результатов: радиационная экология и биология; строительство; сейсмология или физика атмосферы. Результаты радиационного мониторинга использованы для проверки адекватности существующих моделей переноса радионуклидов, а также особенностей переноса ионизирующих излучений применительно к городской среде.

Приборы и методы

Радиационный мониторинг в Томской обсерватории радиоактивности и ионизирующих излучений (ТОРИИ) реализуется с конца 2008 г. и его технология постоянно совершенствуется. На настоящий момент радиационный мониторинг включает синхронные непрерывные автоматизированные с высокой частотой дискретизации (1–10 мин.) измерения характеристик полей ИИ (α -, β -, и γ -излучения), плотности потоков радона (ППР) и торона (ППТ) с поверхности грунта, а также объемной активности (ОА) радона, торона и дочерних продуктов их распада (ДПР) на глубинах до 5 м и высотах до 35 м. Схема мониторинга структуры и динамики полей ионизирующих

излучений и естественной радиоактивности в приземной атмосфере и поверхностном слое грунта приведена на рис. 1.

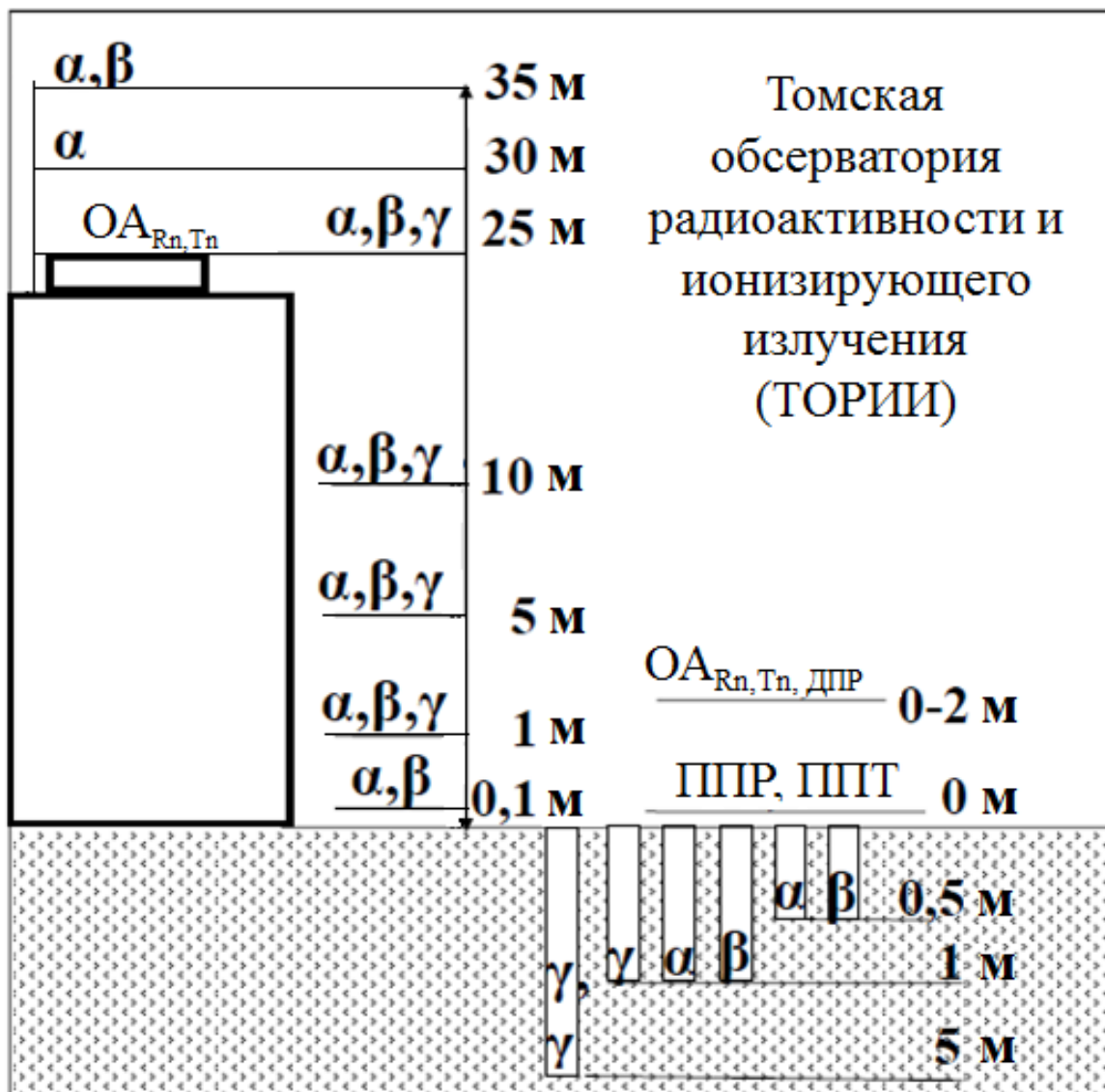


Рис. 1. Схема мониторинга структуры и динамики полей ИИ и естественной радиоактивности в приземной атмосфере и поверхностном слое грунта

Параллельно, на базе Института мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (Академгородок, г. Томск), ведется мониторинг атмосферно-электрических и метеорологических величин [1].

Комплексный подход к радиационному мониторингу позволил получить ряд новых важных научных находок. Была выявлена иная, отличающаяся от традиционных представлений зависимость объемной активности (ОА) радона (плотности потока альфа-излучения) от высоты над земной поверхностью (рис. 2).

Традиционные модели показывают экспоненциальное снижение объемной активности радона с ростом высоты. Наши результаты показали, что с ростом высоты до 25 м плотность потока (ПП) альфа-излучения возрастает в несколько раз, и далее до 35 м остается практически постоянной. Это же справедливо и для радона. Объяснением такой особенности поведения радона является влияние городской инфраструктуры.

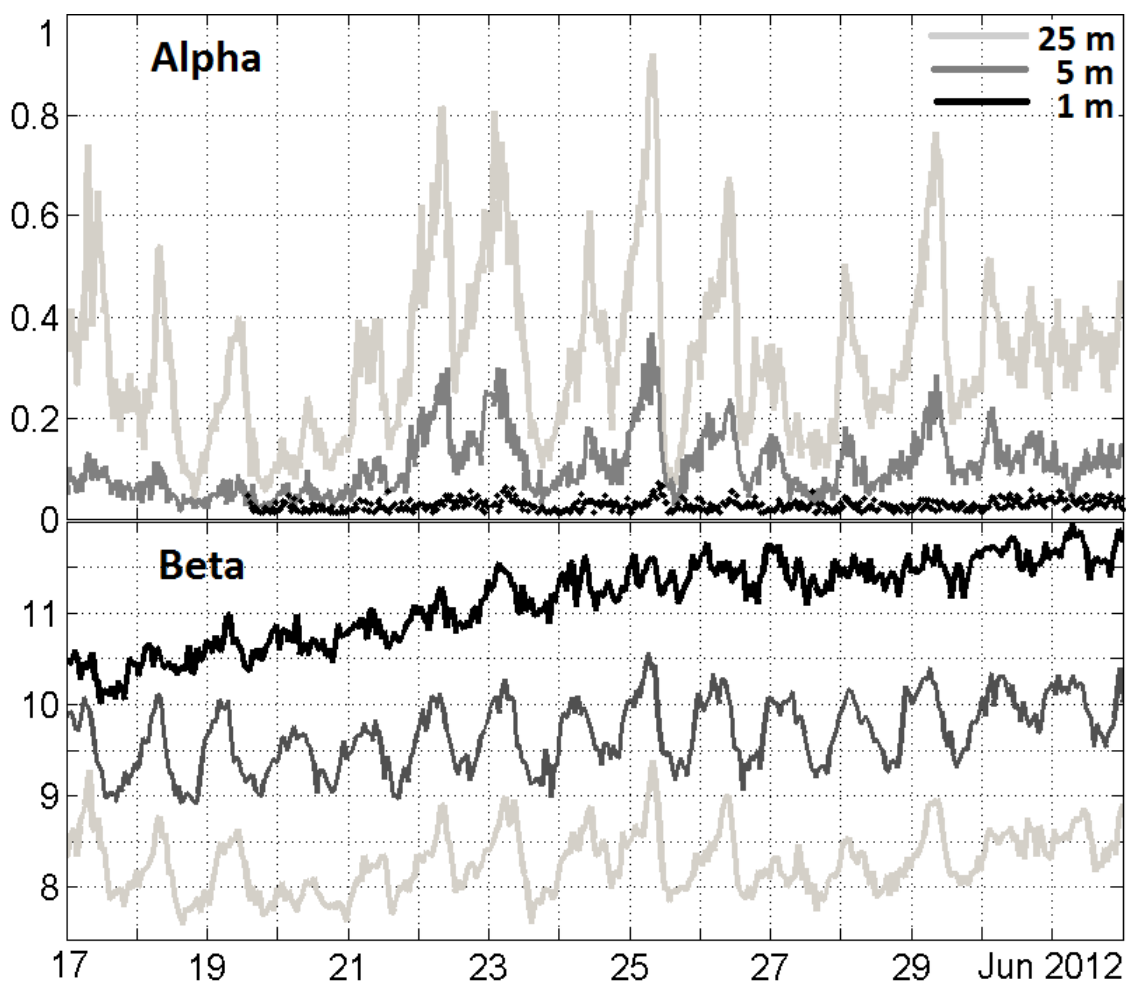


Рис. 2. Зависимость плотности потоков альфа- и бета-излучений от высоты

Вблизи от экспериментальной площадки расположены высотные здания – корпуса ИМКЭС, объединенные буквой «П», которые могут влиять на турбулентные процессы и перенос воздушных масс. К тому же часть детекторов (рис. 1) расположены на мезонине здания ИМКЭС.

Кроме того, увеличение ОА радона с высотой следует учитывать также и при моделировании уровней радона внутри помещений многоэтажных зданий, поскольку, проветривание помещений может приводить не к снижению уровней радона, согласно традиционным представлениям, а к их увеличению.

Что касается широко распространенной модели переноса радона в грунте, учитывающей только диффузионный перенос, она предназначена только для получения усредненных за длительный промежуток времени (несколько суток и более) характеристик ППР или ОА радона в грунте в целях оценки радонового потенциала территорий, но не пригодна для моделирования внутрисуточных вариаций.

Диффузионно-адвективная модель переноса изотопов радона в грунте [2], [3] имеет более широкое применение и позволяет описывать большинство экспериментальных данных, однако и она не лишена недостатков, поскольку скорость адвекции представлена постоянной величиной. Такое представление не позволяет описывать экспериментально полученные ряды данных о характеристиках почвенного поля радона, испытывающих суточные и сезонные вариации. К тому же нашим коллективом

было обнаружено, что времена наступления максимумов (минимумов) в суточных вариациях (рис. 3 и 4) зависят от глубины расположения детектора и коррелируют с изменениями температуры грунта на разных глубинах. По оси X на рис. 3 и 4 указан номер дня в году.

Анализ экспериментальных данных, полученных в ТОРИИ, показал, что требуется усовершенствование как модели переноса радионуклидов применительно к городской атмосфере, так и модели переноса изотопов радона в грунте, посредством замены постоянных коэффициентов модели на аппроксимационные функции, определенные на основе экспериментальных данных.

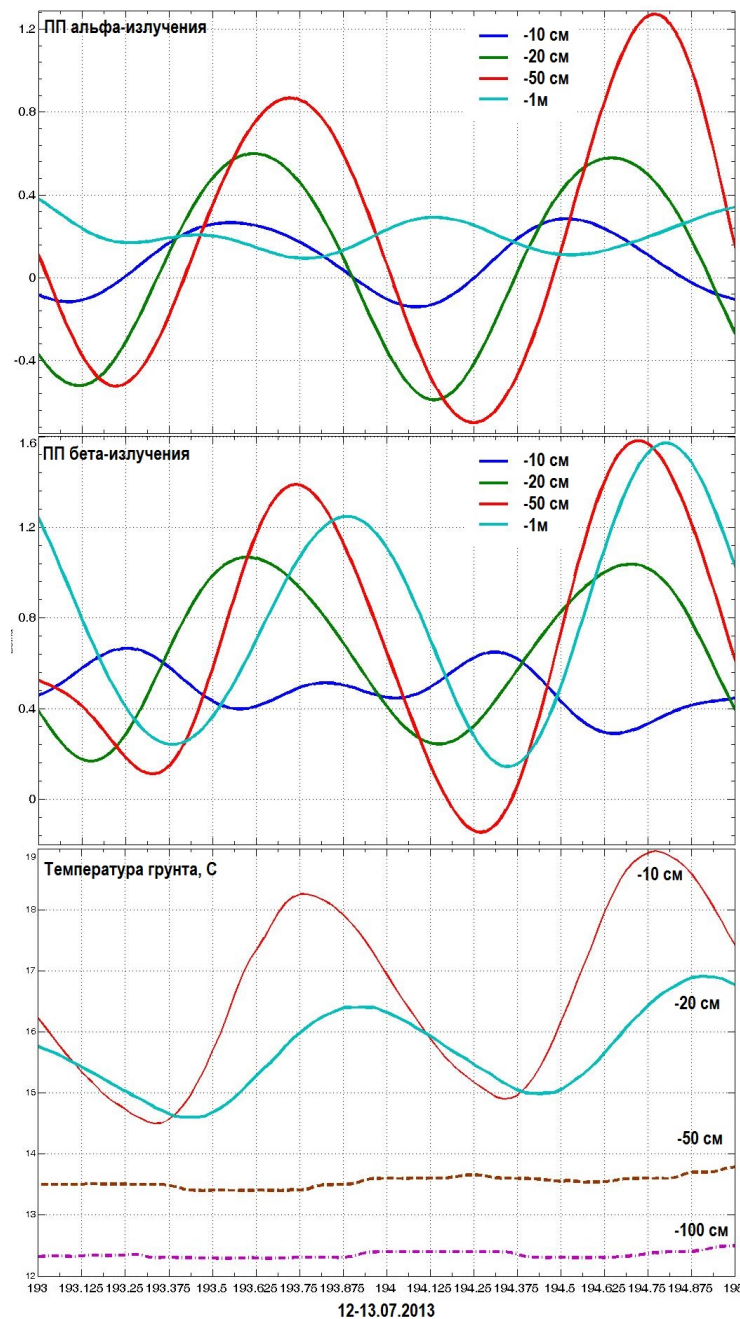


Рис. 3. Суточные вариации температуры грунта и ОА радона в грунте, измеряемой по: а) альфа-излучению; б) бета-излучению на разных глубинах

Скорость адвекции следует описывать функцией от глубины грунта и времени. Экспериментально полученные суточные вариации ОА радона снижаются с глубиной и время наступления максимумов (минимумов) испытывает временную задержку. Такое поведение обусловлено теплофизическими свойствами грунта и местными метеорологическими условиями. В отсутствие осадков суточные и сезонные перепады температуры грунта оказывают наибольшее влияние на ход суточных вариаций ОА радона.

Годовые, а также суточные колебания температуры можно описать синусоидальной функцией времени и глубины [4], [5]. С учетом этого выражение для функции скорости адвекции модернизируем следующим образом:

$$v(x,t) = \frac{v_a}{T_a} \sin(\omega t + \phi(z) - z/d) \exp(-z/d),$$

где v_0 – средняя скорость адвекции, экспериментально определяемая для слоя грунта мощностью 1 м, м/с; T_a – средняя температура поверхности, °С; A_0 – амплитуда колебания температуры на поверхности грунта, °С; ω – радиальная частота; $\phi(z)$ – время задержки начальная фаза) в функции z , с; $d = \sqrt{2k/(C\omega)}$ – глубина затухания температурных колебаний в почве, т.е. на этой глубине амплитуда температуры уменьшается в $\approx 2,718$ раза по отношению к амплитуде температуры на поверхности почвы (A_0), м; k – коэффициент теплопроводности, Дж/м; C – объёмная теплоёмкость, Дж/м³.

Такое представление скорости адвекции позволяет описывать влияние температуры и теплопроводности грунта на ОА радона в суточном и годовом ходе.

Таким образом, для численного моделирования структуры и вариаций как атмосферного радиационного фона, так и переноса радона в грунте, необходимо знать и контролировать ряд метеорологических величин (давление, температура, скорость ветра, характеристики турбулентности атмосферы и осадков и пр.).

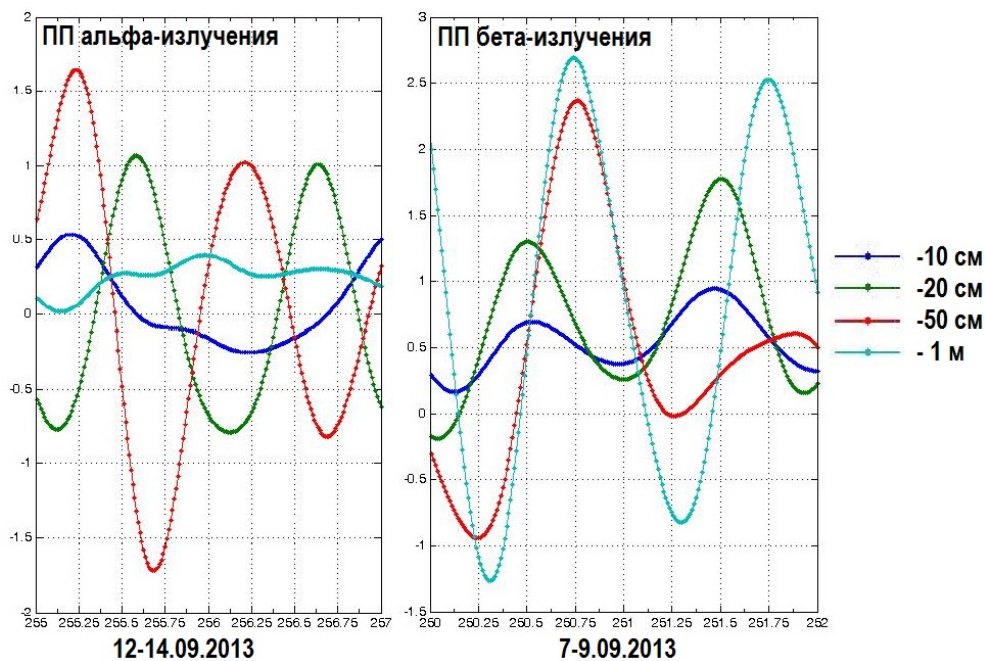


Рис. 4. Суточные вариации ОА радона в грунте, измеряемой по альфа- и бета-излучениям на разных глубинах

Заключение

Дальнейшее развитие технологии радиационного мониторинга городской среды заключается в совершенствовании моделей переноса газов и радионуклидов в различных средах, разработке новых алгоритмов и методов контроля как радиационных величин, так и метеорологических атмосферно-электрических и актинометрических величин. Это позволит получать новые данные о структуре и динамике полей ионизирующих излучений и естественной радиоактивности в приземной атмосфере и поверхностном слое грунта, выявлять особенности и закономерности в их поведении, а также взаимосвязи с метеорологическими процессами внутрисуточного, суточного и синоптического масштабов.

Одним из результатов мониторинга является постоянно пополняющаяся библиотека данных, включающая базы данных о характеристиках полей излучений и ОА радионуклидов в грунте и приземной атмосфере, атмосферно-электрических и метеорологических величинах, о повторяемости и интенсивности экстремальных событий, связанных с метеорологическими явлениями в сейсмически безопасном регионе с резко-континентальным типом климата в условиях его современных изменений. База данных и результаты мониторинга могут быть востребованы в Роспотребнадзоре, Росгидромете, службах МЧС и здравоохранения, а также научными организациями, занимающимися прогнозом изменения напряженно-деформированного состояния земной коры.

Библиографический список

1. Яковлева В.С., Каратаев В.Д., Вуколов А.В., Ипполитов И.И., Кабанов М.В., Нагорский П.М., Смирнов С.В., Фирстов П.П., Паровик Р.И. Методология многофакторного эксперимента по процессам переноса радона в системе “литосфера–атмосфера” // АНРИ. 2009. №4. С.55-60.
2. Yakovleva V.S., Parovik R.I. Solution of diffusion-advective equation of radon transport in many-layered geological medium // Nukleonika. 2010. V. 55. №4. P. 601–606.
3. Яковлева В.С., Паровик Р.И. Численное решение уравнения диффузии-адвекции радона в многослойных геологических средах // Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки. 2011. №1(2). С. 44–54.
4. Д.А. Де Врие. Теплофизические свойства почвы в физике окружающей среды. Под ред. У.Р. ван Вийк. Изд-во «Норт Холланд», Амстердам, 1963.
5. Шульгин А.М. Климат почвы и его регулирование. Л.: Гидрометеоиздат, 1967. 300 с.