

USE AND PROTECTION OF NATURAL RESOURCES OF RUSSIA

SCIENTIFIC, INFORMATIVE AND ANALYTICAL BULLETIN

№ 2 (182)/2025

NATURE

Common Problems of Nature Management
Mineral Resources
Water Resources
Land Resources
Forest Resources
Biodiversity
Biological Resources of Land
Water Biological Resources
Climatic Resources
Recreational Resources and Special Protected Natural Areas
Environmental Protection
Cartography

AGRICULTURAL RESOURCES AND FOOD SECURITY

Food Security
Feed Resources
Soils
Agrolandscapes
Agroecology
Agroeconomics

EDITORIAL BOARD:

A.I. Bedritsky, **V.A. Belyaev**, **A.N. Chumakov**, **L.A. Gafurova** (Uzbekistan), **N.N. Dubenok**, **A.G. Ischkov**, **N.S. Kasimov**, **D.M. Khomiakov**, **V.N. Lopatin**, **S.A. Lysenko** (Belarus), **O.A. Makarov**, **L.V. Oganessian**, **S.A. Ostroumov**, **G.S. Rozenberg**, **N.G. Rybalsky** (chief editor), **A.V. Shevchuk**, **S.A. Shoba**, **E.A. Shvarts** (vice editor-in-chief), **V.V. Snakin** (vice editor-in-chief), **A.A. Tishkov**, **V.Y. Zharnitkiy**

EDITORIAL COUNCIL:

S.V. Belov (Mineral Resources), **R.S. Chalov** (Water Resources), **M.M. Cherepansky** (Gidrogeology), **G.M. Chernogaeva** (Climatic Resources), **S.I. Nikonov** (Water Biological Resources), **N.G. Rybalsky** (Common Problems of Nature Management, Environmental Protection), **E.V. Shorohova** (Forest Resources), **E.A. Shvarts** (Recreational Resources and SPNA, Biodiversity), **A.V. Smurov** (Biological Resources of Land), **I.A. Sosunova** (Social Ecology, Society and Nature), **S.A. Stepanov** (Environmental Education and Culture), **V.S. Tikunov** (Cartography), **N.F. Tkachenko** (FEC), **I.A. Trofimov** (Geobotany and Agroecology), **A.S. Yakovlev** (Land Resources)

EDITORIAL STAFF:

I.S. Muravyeva, **V.V. Bryzgalova**, **E.A. Eremin**

NATIONAL INFORMATION AGENCY «NATURAL RESOURCES»

108811, Moscow, tow. settl. Moscovsky, mailbox 1627, NIA-Priroda
Phone 8 (903) 721-43-65, e-mail: nia_priroda@mail.ru, www.priroda.ru,
Registration certificate № 03206 of 19th November, 1997

*The Bulletin is included in the list of peer-reviewed scientific journals of the Higher Attestation Commission
(of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation)*

В ЭТОМ ВЫПУСКЕ

ПРИРОДА

Общие вопросы природопользования

- С.В. Белов.* Вулканизм, радиорезистентность и эволюция организмов.....3

Водные ресурсы

- Г.Ю. Толкачев, Э.Б. Дедова.* Методологические основы оценки геоэкологического состояния донных отложений как индикатора водосборных территорий.....9
- А.М. Сальва, Н.А. Цуранов, М.С. Иванова.* Расчет режима работ насосных станций магистрального водовода «Лена — Мюрю» в Центральной Якутии.....15

Лесные ресурсы

- Д.В. Юдаева, Т.И. Сорокина, Т.О. Яницкая, Н.М. Шматков, Е.А. Шварц.* ESG и добровольная лесная сертификация по системе «Лесной эталон»19
- П.С. Халин, М.А. Козаченко.* Анализ динамики пожарной опасности по условиям погоды в Саратовской области в пожароопасный период 2020 года.....25

Климатические ресурсы

- В.В. Тетельмин.* Функции чувствительности климатической системы Земли к выбросам антропогенных парниковых газов (аналитическое решение вековой задачи С. Аррениуса)29
- В.В. Снакин.* Углекислый газ атмосферы и глобальное потепление39
- А.В. Шпильман, П.А. Стулов, П.В. Владимирова.* Изменение среднегодовой температуры в районе городов Тюмень, Ханты–Мансийск и Салехард45

Охрана окружающей среды

- С.С. Воронич, А.Г. Хлопаев, Д.А. Зайцев, И.Р. Хусаинов, Н.С. Воронич.* Информационная система «Экология Подмосковья» и ее значение в повышении эффективности экологического мониторинга48
- Н.Н. Роева, И.А. Зайцева, Д.Р. Буздаков, Н.А. Жиганов.* Дифференцированный анализ химических форм хрома в водных экосистемах.....53

АГРОРЕСУРСЫ И ПРОДОВОЛЬСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Продовольственная безопасность

- Д.М. Хомяков.* Продовольственная безопасность в условиях изменения климата и основы государственной аграрной политики.....57
- О.В. Каменецкая, У.А. Шергазиев, Р.А. Ромашкин.* Особенности проведения мониторинга земель сельскохозяйственного назначения в России и за рубежом68
- А.В. Муравьева, С.Н. Еланский, И.А. Кутузова.* Влияние гетероцитных цианобактерий на рост сорго76

Почвы

- О.А. Макаров, В.В. Демидов, Д.Р. Абдулханова, Е.Н. Есафова.* Скорость и ускорение почвенных процессов (первая и вторая производные от почвообразования)85
- Т.А. Зубкова.* Почвы и здоровье населения91

Агроландшафты

- С.А. Корсикова, П.М. Сапожников.* Показатели качества и кадастровая стоимость почв агроландшафтов Западной Сибири (на примере Новосибирской и Омской областей).....96

Агроэкология

- Т.Н. Троян, Д.Д. Самуйлова, О.М. Бедарева.* Загрязнение почв придорожных территорий тяжелыми металлами в Калининградской области.....104
- С.Г. Парамонов.* Подходы к оценке экологических рисков на постагrogenных землях108

Агроэкономика

- Е.В. Цветнов, О.А. Макаров, Д.Р. Абдулханова, Н.А. Марахова, Я.Р. Ермияев.* Деградация земель и социально-экономическая устойчивость территорий113

Юбилей

- П.Н. Балабко, Н.Г. Рыбальский, Т.И. Хуснетдинова, Н.П. Маткина.* К 125-летию первого заведующего кафедрой общего земледелия МГУ118

Календарь мероприятий

- Р.А. Ромашкин, Е.В. Цветнов.* Итоги встречи ведущих ученых в области сельского хозяйства стран G20132

- Книжная полка**136

Общие вопросы природопользования

EDN AYDWCE

УДК 55/551.7:57.045

Вулканизм, радиорезистентность и эволюция организмов

С. В. Белов, д.г.-м.н., ООО «ОЗГЕО», Москва

Анализ глобального вулканизма свидетельствует об общем экспоненциальном его росте на протяжении фанерозоя, что указывает на антиэнтропийное (негэнтропийное) развитие Земли. На этом фоне происходили периодические всплески вулканической активности в кембрии, девоне, триасе и неоген-квартере. В эти же периоды случаются ароморфозы — ключевые события в развитии организмов, происходившие в условиях дефицита кислорода и завершившиеся появлением человека. В течение геологической истории при росте радиогенной энергии Земли, радиорезистентность организмов в вышеуказанные геологические периоды последовательно снижалась, достигая в современную эпоху минимальной, характерной для *Homo sapiens*. Тем самым, в ходе эволюции организмов, два разнонаправленных процесса обеспечивают условия для активизации и ускорения мутаций, приведших к появлению и развитию человека. Палеонтологическим подтверждением ускоренной эволюции в кембрии, девоне, триасе и в неоген-квартере является наиболее частая смена биостратиграфических ярусов (биоты) в эти периоды.

Ключевые слова: вулканизм, радиорезистентность, эволюции организмов.

Ранее нами установлено [1], что в последние приблизительно 600 млн лет, жизни планеты — в фанерозое, её вулканическая активность не была равномерной. На протяжении этого времени выявлены периодические всплески вулканизма, которые, случались через каждые 190–200 млн лет в кембрии, девоне, триасе и в близсовременную эпоху (рис. 1). Причём, эти пульсации происходили на фоне общего экспоненциального, возрастания масштабов вулканизма. Примечательно, что со всплесками глобального вулканизма коррелируются периодические уменьшения содержания кислорода в древней атмосфере Земли (рис. 2-а). Это и объяснимо, ведь вулканы в эти геологические периоды «дымили», что называется, по-чёрному.

Характерно и то, что крупные ключевые перестройки в развитии земной биосферы (так называемые ароморфозы) также происходили в периоды наибольшего вулканизма с той же периодичностью порядка 200 млн лет (см. рис. 1). Так: в кембрийскую эпоху на сцену жизни выходят организмы, обладавшие твёрдым скелетом, за которыми было будущее; в девоне начался выход биосферы на сушу; в триасе появились первые млекопитающие, класс животных, выделяющихся высокой организацией. Проходит ещё около 200 млн лет, вулканическая активность

Земли становится наивысшей за всю её историю и тогда происходит знаковое событие, скачек в эволюции биосферы — появляется первый человек, т.е. биосфера в своём развитии проходит точку бифуркации. Получается, что именно в периоды, когда вулканы, работая наиболее активно, сильнее всего загрязняли окружающую среду и уменьшали долю содержащегося в атмосфере кислорода, биосфера эволюционировала наиболее активно. Подробно этот аспект, с учётом влияния гравитации, приводящей к торможению Земли во Вселенной и трансформации этой энергии в тепловую, которая выплёскивается в виде вулканических извержений, охарактеризован нами в работе [2].

Однако, кроме этого фактора очевидно имеются и иные, способствовавшие ускоренной эволюции организмов на протяжении геологической истории. Думать так заставляют следующие обстоятельства. Прежде всего, речь идёт о росте со временем радиоактивности, проявляющейся в выделении внутриземной радиогенной энергии (рис. 3). Специально не останавливаясь на этом явлении, отметим, что это одно из многочисленных свидетельств роста эндогенной активности Земли, указывающих на её антиэнтропийное (негэнтропийное) развитие и энергетическую подпитку.

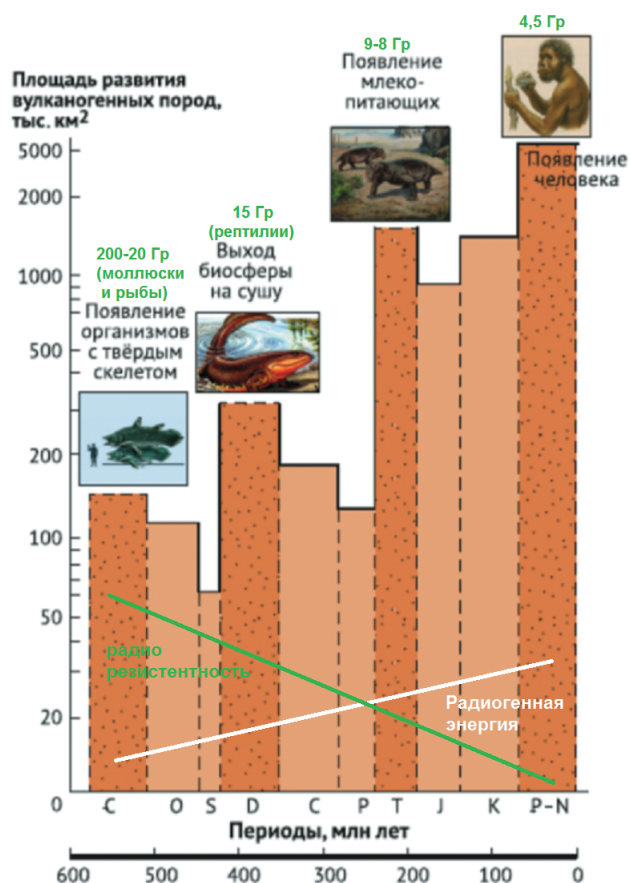


Рис. 1. Проявление в фанерозе: глобального вулканизма и ароморфоз, а также радиорезистентности организмов Гр (зелёное) и радиогенной энергии 10^{37} эрг (белое), шкалы для двух последних графиков условные

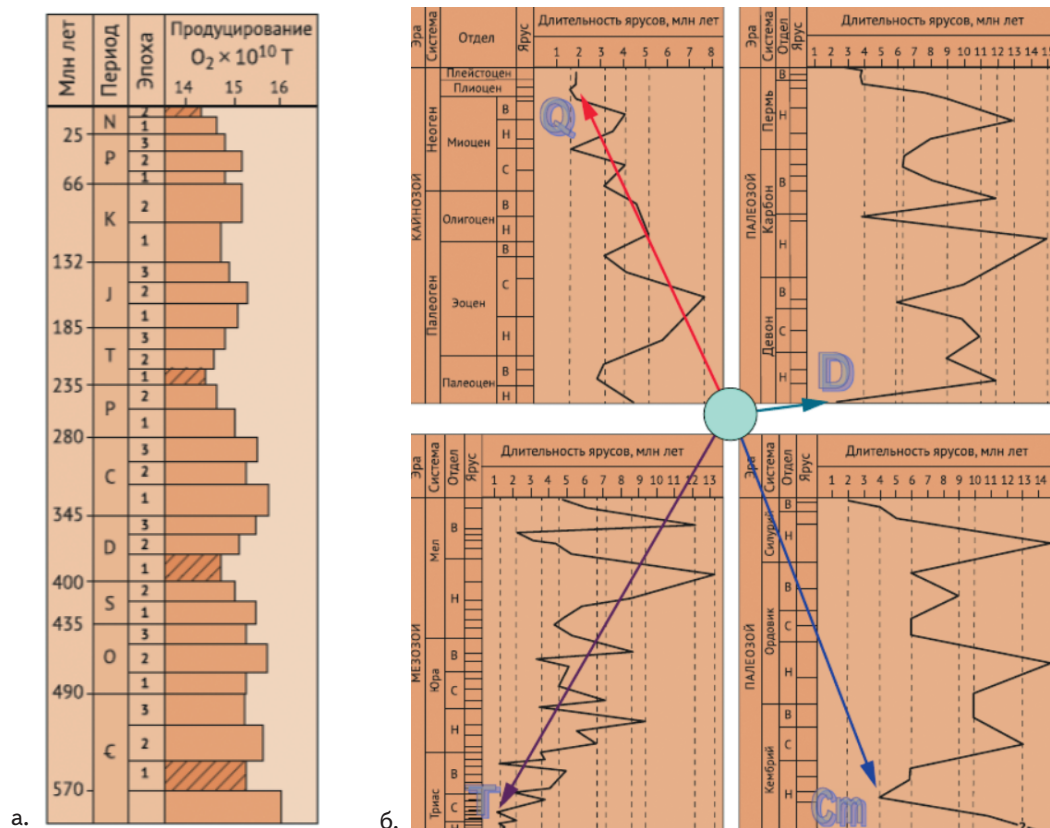


Рис. 2. Минимумы в C, D, T, и Q эпох: а — продуцирования кислорода; б — длительности стратиграфических ярусов свидетельствующие о происходивших в это время частых мутациях [3]

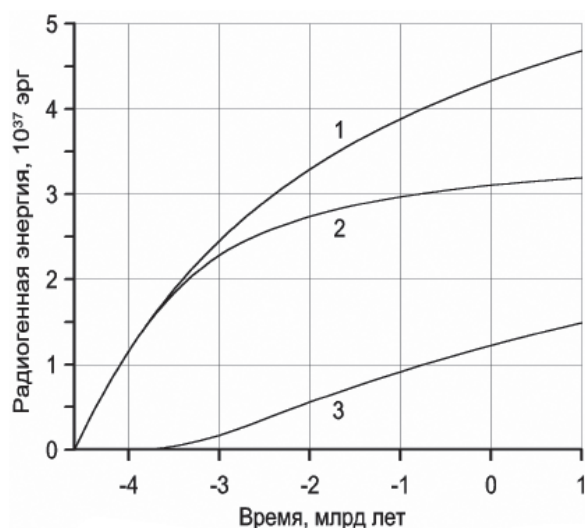


Рис. 3. Распределение по времени внутриземной радиогенной энергии:
1, 2, 3 — различные исходные модели (по О.Г. Сорохтину)

ку извне. Причины и характер подобной подпитки подробно описаны в разработанной нами гелио-био-геологической концепции [4] и др.

Полагать, что возрастающая радиоактивность «подстегивала» развитие живых существ и стимулировала мутации, дают основание биологические исследования, проведенные в окрестностях уникального природного ядерного реактора Окло в Габоне [5]. Они свидетельствуют о росте частоты мутаций у древних одноклеточных организмов, попадавших в зону повышенной радиации, по мере приближения к природному ядерному реактору. Весьма примечателен и факт, на который впервые обратил внимание академик Н. П. Лаверов, состоящий в приуроченности центров интенсивного видообразования растений выявленных академиком Н.И. Вавиловым, ещё в 1928 году, к зонам повышенной радиоактивности.

Как бы то ни было, всё это даёт основания считать, что жизнь на Земле возникла и прошла долгий путь эволюции в условиях роста естественного уровня радиации, которая стала необходимым элементом развития биологических систем. Этот общий её рост, как представляется, происходил на фоне флуктуаций (всплесков) случавшихся в определённые периоды геологической истории. В течение фанерозоя это имело место в кембрии, девоне, триасе и палеоген-квартере, когда глобальный вулканизм, как было показано выше, проявлялся наиболее масштабно. Считать так дают основание исследования камчатского вулканолога В.И. Андреева [6], установившего, что наибольшие содержания природных радиоактивных изотопов U, Th, K наблюдаются в гидротермально изменённых вулканитах (пропилитах и др.), а также жерловых фациях вулканических пород. Особенно это присуще кислым вулканитам. Весьма активно при извержениях вулканов происходят и эманации радиоактивного газа радона.

Поэтому понятно, что при росте общих масштабов вулканизма в кембрии, девоне, триасе и в близ-

современную эпоху, соответственно в эти же периоды количество и объём жерловых и гидротермально изменённых фаций, а также эманаций радона, увеличивалось, что способствовало суммарному росту естественной радиоактивности. Детальные исследования С.Г. Неручева [7] кембрийской и девонской радиоактивных эпох, связанных, по его мнению, с накоплением в приповерхностных оболочках урана, показали резкое увеличение количества новых родов и резкое вымирание организмов, случившихся в то время. Таким образом, внутриземная радиогенная энергия, связанная, как показано в [4, 12], с термоядерными процессами в земном ядре, росла, стимулируя процесс эволюции организмов.

Вместе с тем, в этот рост вносила свой вклад и увеличивающаяся светимость Солнца, которая за время существования Земли (рис. 4) возросла на 37–38% с $2,8 \cdot 10^{33}$ до $3,86 \cdot 10^{33}$ эрг/с. Соответственно, выросла и солнечная постоянная S . Она была — $1 \cdot 10^6$ эрг/см²х сек, 4,6 млрд. лет назад, став ныне — $1,37 \cdot 10^6$ эрг/см²х сек [8]. Естественно, что в таких условиях со временем возрастал и поток высокоэнергетических частиц и ионизирующего радиоизлучения поступающего на Землю и целенаправленно влиявшего на биоту. Процесс этот перманентно продолжается. Так с 1750 г. уровень солнечной радиации возрос на 0,3%, что, на первый взгляд, вроде бы немного, но, несомненно, это указывает, что тенденция, заданная в начале жизни Земли, продолжается.

Ещё одним важным фактором, влиявшим на эволюцию организмов, является определённая направленность в изменении радиорезистентности биоты. Весьма примечательно, что радиорезистентность организмов в ходе их эволюции на протяжении геологической истории (от простейших организмов

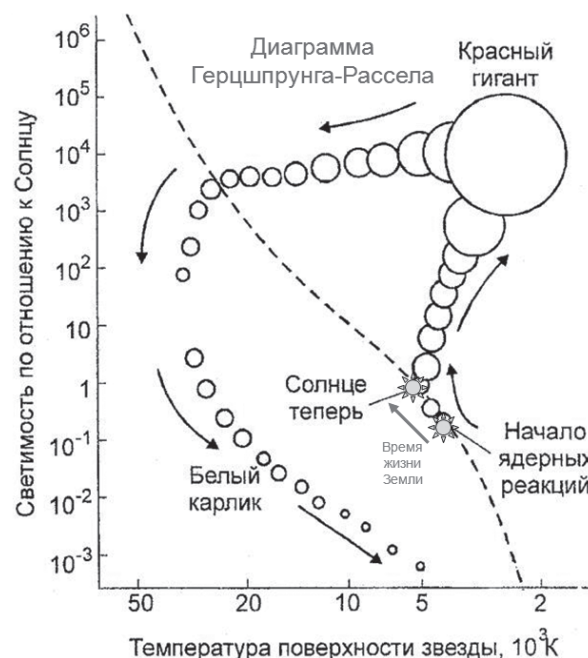


Рис. 4. Рост светимости Солнца за время жизни Земли на диаграмме Герцшпрунга-Рассела

к человеку), падала (см. рис. 1). Так LD_{50} — средняя летальная доза (в грей, Гр) составляла: для простейших (археи и бактерии) 7500–1500; моллюски и рыбы (200–20); рептилии (15); млекопитающие (9–8); человек (4,5). Притом, что интенсивность выделения внутриземной радиогенной энергии, (оцениваемой примерно $4 \cdot 10^{25}$ эрг/год) со временем, как можно видеть на рис. 1 и 3, росла. На первый взгляд, противоположность в тенденциях изменения естественной радиоактивности и радиорезистентности биоты, кажется, парадоксальной. Однако это лишь на первый, поверхностный, взгляд. Если смотреть глубже, становится ясно, что степень радиорезистентности организмов, напрямую, связана со скоростью мутаций. Природа, в ходе геологической истории, похоже, целенаправленно работала в этих двух направлениях: увеличивала общую интенсивность радиации на Земле и параллельно снижала степень резистентности биоты против неё. Суммарным результатом этих двух прямо противоположных процессов явилась всё нарастающая интенсивность мутаций организмов, которая, в конечном счете, и привела к появлению человека (см. рис. 1). Была ли такая целенаправленность развития случайной? — можно только гадать.

Однако, то, что данный процесс действительно имел место в геологической истории, подтверждают данные по продолжительности биостратиграфических ярусов (веков) фанерозоя (см. рис. 2-б). Можно видеть, что в кембрии, девоне, триасе и в квартере длительность стратиграфических ярусов была минимальной, т.е. происходила наиболее интенсивная мутация, приводившая к частой смене видов живших в те периоды организмов.

Всё это так, тем не менее, вывод об интенсивной эволюции организмов в периоды наихудшего состояния окружающей среды (дефицит кислорода и повышенная радиация, при снижающейся радиорезистентности организмов), может показаться несколько необычным, однако факты не оставляют места для иного их толкования. Чтобы понять причины: почему это происходило именно так, а не иначе (?), — обратимся к идеям американских биологов Р. Макартура и Э. Уилсона.

Эти авторы показали [9], что существуют две стратегии развития живых существ: r — стратегия, предполагающая бурное размножение и короткую жизнь; и K — стратегия, для которой характерен низкий темп размножения и долгая жизнь. По r — стратегии популяция развивается в неблагоприятных условиях среды; происходящая при этом частая смена поколений способствует закреплению тех мутаций, которые позволяют наиболее успешно противостоять неблагоприятным воздействиям. А K — стратегия характерна для благоденствия популяции при хороших стабильных условиях среды. Другими словами, лишь тогда, когда развитие организмов идет по пути r — стратегии, происходит активная эволюция живых существ.

Что же приводит к переключению с K — стратегии на r — стратегию? По мнению академика В.П. Скулачёва механизм такого переключения связан с влиянием, так называемых, активных форм кислорода. Их количество и объем возрастают при учащении дыхания организмов, например, в случае недостатка в атмосфере кислорода. Но, ведь в эпохи повышенной вулканической активности (чередующиеся, как было показано, с интервалом в 200 млн. лет), содержание кислорода в атмосфере Земли как раз и было минимальным, за счёт её загрязнения от работы вулканов (см. рис.2-а).

Другим природным фактором, работавшим в том же направлении, явилось снижение радиорезистентности организмов, способствовавшее их “перебору”, с разделением на две группы: тех, кому предстояло исчезнуть и тех кто, в результате ускоренной эволюции по r — стратегии, оказывался наиболее приспособленным для жизни и развития в изменившихся условиях. Таким путём была обеспечена целенаправленная эволюция органического мира в кембрии, девоне, триасе и в близкосоветвенную эпоху. В этот последний этап органический мир особенно интенсивно эволюционировал. И венцом этой эволюции стал человек, появившийся на фоне весьма экологически неблагоприятной обстановки, когда вулканы, во всю трудились над уменьшением содержания кислорода в атмосфере Земли, естественная радиоактивность росла, а слабая радиорезистентность позволяла Природе двигаться намеченным путём. Собственно об этом, наверное, совсем не случайном явлении, свидетельствует и антропный принцип [10]. И похоже на то, что закономерность, выявленная Р. Макартуром и Е. Уилсоном, справедлива в отношении развития человеческих популяций и социума в целом.

Подтверждением этого является, в частности то, что места обитания и стоянки древнего человека расположены в пределах Великой Африканской рифтовой зоны — громадного трещинного провала на востоке континента. Здесь, активно проявлен вулканизм, а также весьма типична по данным [7], повышенная радиоактивность. Сквозь трещинные рифтовые структуры просачивается мощный поток мантийных газов и радиоактивных эманаций, ухудшавших состояние атмосферного воздуха и угнетающе влиявших на обитавшие там популяции древнего человека, заставляя их развиваться по r — стратегии и интенсивно эволюционировать в направлении *Homo sapiens*.

Получается удивительная, на первый взгляд, вещь: выходит, что условием ускоренной эволюции, приводящей к качественным скачкам в развитии организмов, является ухудшение экологического состояния среды обитания. Собственно это и составляет суть, сформулированного нами [11], главного парадокса экологии: *то, что хорошо для отдельного индивида, плохо для развития популяции.*

Возникает вопрос: влияет ли этот фактор на современного человека? Низкая рождаемость и большая продолжительность жизни, типичная для стран «золотого миллиарда», существующих в условиях благоденствия, дает основание полагать, что развитие этой части человечества происходит по K — стратегии. Высокая рождаемость и смертность в странах третьего мира свидетельствует, что здесь, очевидно, человеческие популяции развиваются по r — стратегии. В этой связи обращает на себя внимание такой факт, как мощное интеллектуальное донорство или пресловутая утечка на запад лучших мозгов, активно генерируемых странами третьего мира. Видимо интуитивно запад понимает, что это жизненно необходимо ему для «освежения крови», иначе он обречён на застой и деградацию. В условиях благоденствия, организм, в том числе и человеческий, не эволюционирует, а значит, в первую очередь, не развивается его мозг.

В этой связи, находит объяснение непонятное до этого тяготение издревле центров человеческой цивилизации и городов к областям проявления вулканизма и другим участкам повышенной эндогенной активности Земли. Они не самые лучшие места для проживания с точки зрения безопасности, и экологии, в то время как огромные пространства с низкой эндогенной активностью Земли заселены слабо.

По мере развития цивилизации, к деградирующему воздействию глобальных геологических процессов, добавляется техногенная деятельность самого человека, которая становится дополнительным фактором его эволюции. И это действительно так, ведь в авангарде развития и прогресса стоят города и мегаполисы с их ужасными экологическими проблемами, а не идиллические сельские территории, жизнь в которых располагает к спокойному созерцанию. Развитие городов и прогресс науки идут параллельно. Эти явления неразрывно связаны. Жизнь в городах — этих котлах цивилизации, несмотря на удобства, в среднем меньше по продолжительности. Не только бытовые и промышленные отходы, но и несравнимо высокий психологический стресс, типичный для крупных городов приводят не просто к более частой смене поколений, но, несмотря на демпфирующее влияние общественно-социальных факторов, заставляют городские популяции человека развиваться по r — стратегии, то есть интенсивно эволюциони-

ровать. Об этом свидетельствуют, например, более высокие значения коэффициента IQ городского населения, по сравнению с сельским (рис. 5). А более значительная дисперсия указывает на бо-

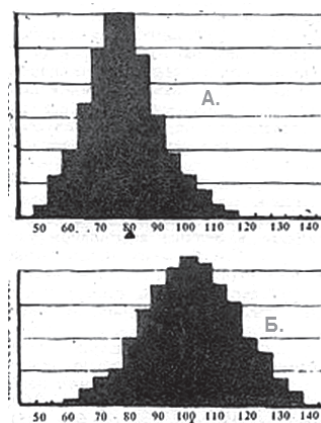


Рис. 5. Гистограммы коэффициентов IQ: сельских — А и городских популяций — Б, для которых типична и более высокая дисперсия

лее интенсивные мутации горожан.

Таким образом, приходится заключить, что деградация среды обитания, обусловленная геологическими и иными факторами — необходимое условие эволюции, не только разнообразной биоты, появлявшейся и исчезавшей на протяжении геологической истории, но и развития человечества! Как личность человек инстинктивно противится этому, он не просто каждый *week end* стремится покинуть город, но и создает партии зелёных, экологические фонды, разрабатывает концепции устойчивого развития. Однако диалектика эволюции организмов такова, что механизм деградации среды обитания, запущенный Природой продолжает действовать. В конечном счете, это может привести к тому, что человек, пройдя очередную точку бифуркации, окажется на совершенно новом, пока ещё трудно вообразимом уровне. Будет ли это человек в сегодняшнем его понимании? Когда это произойдёт и как, сказать ныне вряд ли возможно, но ждать, наверное, придётся не слишком долго, ведь как развитие, так и загрязнение окружающей среды, происходят по экспоненте. Тем более, что социуму предстоит в будущем столкнуться с резким нарастанием энергетики Земли и её эндогенной активности [12,13], которая инициирует разнообразные природные катастрофы, свидетельствами которых мы все сегодня являемся.

Литература

1. Белов С. В. О периодичности современного и древнего вулканизма Земли // Докл. АН СССР, 1986. Т. 291. № 2. — С. 421–425.
2. Белов С. В. Эволюция организмов, главный парадокс экологии и гравитация // Энергия: экономика, техника, экология, 2022. № 12. — С. 13–24.
3. Негруца В. З., Негруца Т. Ф. Седиментогенез как отражение динамики воздействия мантии на экосферу Земли. Генетический формационный анализ осадочных комплексов фанерозоя и докембрия: матер. 3-го Всеросс. литологического совещания (Москва, 16–20 марта 2003 г.). — М.: Изд-во Московского ун-та, 2003. — С. 24–26.
4. Белов С. В. Минеральные ресурсы, эндогенная активность Земли и гелио-био-геологическая концепция // Минеральные ресурсы России, 2021. № 1–2. — С. 1–9.

5. Мешик А. Древний ядерный реактор // В мире науки, 2006. № 2. — С. 40–45.
6. Андреев В. И. Распределение естественных радиоактивных элементов в твёрдых вулканитах и радиоактивных газах из вулканов и гидротерм Камчатки и Курил. — Петропавловск-Камчатский: Ин-т вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, 2031. — 168 с.
7. Неручев С. Г. Эпохи радиоактивности на поверхности Земли и их влияние на развитие органического мира // Нефтегазовая геология. Теория и практика, 2007. № 3. — С. 1–26.
8. Bachall J.N. Standard Solar model and the uncertainties in the predict capture rates of solar neutrinos // Rev. Mod. Phys., 1982.
9. Fretwell S.D. The Impact of Robert MacArthur on ecology // Annual Review of Ecology and Systematics, 1975. № 6. — Pp. 1–13.
10. Белов С. В. Больше чем гипотеза // Природно-ресурсные ведомости, 2016. № 2 (425). — С. 8.
11. Белов С. В. Эволюция организмов и основной парадокс экологии // Экологические системы и приборы, 2018. № 2. — С. 3–9.
12. Белов С. В. Энергетика Земли растёт // Дельфис, 2019. № 3. — С. 80–85.
13. Белов С. В., Шестопалов И. П. Внутриземной ядерный синтез и природные катастрофы: проявления и возможные причины // Смирновский сборник. — М., 2022. — С. 141–154.

Сведения об авторе:

Белов Сергей Викторович, д.г.-м.н., академик РАЕН, главный научный консультант ООО «ОЗГЕО», Москва; e-mail: belov.s-2011@yandex.ru.

Короткие сообщения

Итоги рейтинга лучших вузов России

3 июня опубликованы итоги рейтинга лучших вузов России RAEX-100 — единственного российского образовательного рейтинга, успешно прошедший международный аудит IREG Observatory on Academic Ranking and Excellence.

В 2022 году RAEX подготовило предметные рейтинги вузов по 29 направлениям, в 2023 году список был расширен до 35 областей, в 2024 году — до 36 областей. В 2025 году в списки предметных рейтингов вузов вошли 166 учебных заведений из 40 регионов России.

МГУ им. М.В. Ломоносова занял 1 место в ежегодном рейтинге лучших вузов России RAEX-100, входящем в семейство «Три миссии университета», а также возглавил топ лучших вузов по уровню научно-исследовательской деятельности и по условиям для получения качественного образования. Вуз также одержал победу в рейтинге по 35 предметным областям, заняв первое место сразу в 13 предметных списках, в том числе во всех публикуемых рейтингах естественно-научных направлений — физика, химия, география и биология. Кроме того, университет признан лучшим в математике, филологии и журналистике, лингвистике и иностранных языках, истории и археологии, педагогическом образовании, праве, политологии, международных отношениях, экологии, биотехнологии и биоинженерии.

Сразу три университета Минсельхоза России укрепили свои позиции: Тимирязевская академия — перешла с 43 на 37 место; Ставропольский ГАУ — с 52 на 47 место; Кубанский ГАУ — с 90 на 76 место. Все три вуза готовят специалистов по наиболее востребованным в АПК направлениям: агрономия, агроинженерия, зоотехния, экономика и управление в сельском хозяйстве, биотехнологии, агроинформатика и др. Повышение позиций в престижном рейтинге говорит о повышении качества образования в аграрных вузах Минсельхоза России.

Аграрный центр МГУ

Водные ресурсы

EDN BSHCAM

УДК 631.6; 626.8

Методологические основы оценки геоэкологического состояния донных отложений как индикатора водосборных территорий

*Г.Ю. Толкачев, к.г.н., Э.Б. Дедова, д.с.-х.н.**Федеральный научный центр «ВНИИ гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова»*

На примере сравнительного анализа водных объектов Мещерской низменности и Республики Калмыкия отмечены особенности загрязнения тяжелыми металлами и мышьяком донных отложений природно-техногенных структур.

Ключевые слова: тяжелые металлы, загрязнение, донные отложения, обводнительно-оросительные системы, водные объекты, мониторинг.

Введение

Донные отложения водных объектов, в том числе рек и коллекторов, можно считать конечным звеном круговорота техногенных элементов в ландшафте: вследствие своих высоких сорбционных свойств тонкие фракции накапливают комплекс загрязнителей. Степень загрязнения донных отложений может рассматриваться в качестве интегрального показателя техногенной нагрузки на водный объект, а также является информацией об интенсивности и направленности инженерно-хозяйственной деятельности на водосборной территории. Изучение загрязнения донных отложений водных объектов химическими элементами продолжает оставаться одной из важных проблем геоэкологии и охраны окружающей среды. Отсутствие формальной нормативной базы по этим показателям привело к различным и многообразным подходам и методам решений поставленной задачи. В настоящее время состояние водных объектов определяется техногенными факторами. С точки зрения техногенной нагрузки наиболее опасными загрязняющими веществами являются тяжелые металлы Hg, Cd, Zn, Pb, Cu, Cr, Co, Ni, Fe, Mn и As. При этом конечным звеном, энергетическими ловушками и потенциальными барьерами в природно-техногенной ландшафтно-каскадной системе любой водосборной территории, а исследования донных отложений

водоемов позволяют установить неблагоприятные участки и определить источники загрязнения [1, 2].

Общие положения

Для разработки нового подхода к оценке загрязнения водных объектов был применен (с некоторыми дополнениями) разработанный ранее энергетический подход, а также произведено районирование территории на примере речного бассейна по участкам четырех категорий [3, 4]. Обоснование точек отбора не носит унифицированного характера, т.к. участки различных категорий являются в некоторой степени уникальными и требуют индивидуального подхода. На основании мониторинга на участках I категории выделяются участки II категории — на которых загрязнение тяжелыми металлами представляет научный и экологический интерес, т.е. участки, где фоновые значения по тяжелым металлам существенно превышены (в несколько и более раз). К участкам III категории отнесены условно чистые малые реки, роль которых в загрязнении водоприемника незначительна. При поступлении с их водами чистого взвешенного вещества происходит очищение загрязненных зон в водном объекте, в который они впадают. Малые реки хорошо освоенных территорий с промышленными и селитебными зонами целесообразно относить к участкам II или IV кате-

гории. На участках специальных наблюдений — IV категории — могут изучаться как отдельно поставленные научные задачи, так и более детальные аспекты изучения водных объектов.

Для этих участков возможная миграция загрязнителей рассмотрена с позиций энергетического подхода, содержание которого следующее: принимая постулат о стремлении природных систем к самоорганизации и агрегативности, подчеркнем определенную устойчивость природных структурных образований — например, почв. Перерождение структурных образований как в направлении усложнения, так и в направлении разрушения происходит скачком при получении или потере ими порции энергии, способной обеспечить преодоление инерционности. Закон инерции определяет, что всякая природная система стремится сохранить свою внутреннюю структуру и механизм функционирования по отношению к внешним силам, направленным на ее разрушение. Начало разрушения природных структур экосистемы лежит в сработке сырьевых и энергетических ресурсов и ее техногенном загрязнении. Выделяют два типа устойчивости экосистемы: 1) структурно-функциональную, связанную с устойчивостью системы и реакцией среды на одни и те же техногенные и природные воздействия; 2) вещественно-энергетическую, связанную с постоянством состава и энергетического баланса [5]. С последней устойчивостью связано возникновение и активизация процессов природного и техногенного характера. Эти виды устойчивости характеризуют способность экосистем выдерживать изменения, которые создают внешние воздействия, восстанавливаться или саморегулироваться. Признание за экосистемами способности к восстановлению — это возможность управления природными или природно-технологическими системами.

Энергетические аспекты миграции грунтов следующие. Устойчивость объекта или природно-технологической системы определяет их энергия связей ($E_{св}$). Чтобы началось разрушение объекта или системы необходима энергия $E_{ак}$. Для транспортировки отчлененных агрегатов также нужна дополнительная энергетическая составляющая. Пороговые значения можно представить следующими соотношениями: $E_{св} > E_{ак}$ процессы денудации не происходят, $E_{св} < E_{ак}$ — процессы разрушения грунтовой толщи происходят, при равенстве этих параметров система сохраняет предшествующее состояние [6].

Методы и объекты исследования

Тонкие фракции (<2 мкм и <20 мкм) способны удовлетворять требованиям мониторинга, инвентаризации и оценки содержания микроэлементов в донных отложениях. Предпочтение следует отдавать быстрому, простому и экономичному отделению <20 мкм путем просеивания; эта фракция довольно близко соответствует взвешенному

веществу в толще водного объекта [7]. Аккумуляцию тяжелых металлов донными отложениями рекомендуется оценивать с помощью «индекса геоаккумуляции» [8], который характеризует относительную кратность загрязнения донных отложений (относительно природного фона) во фракциях грунта <20 мкм, по следующей формуле:

$$I\text{-geo}, n = \log_2 (C_n / 1,5B_n), \quad (1)$$

где: C_n — измеренная концентрация элемента n в донных отложениях (фракция менее 20 мкм); B_n — геохимическая фоновая концентрация элемента n по А.П. Виноградову [9] или К. Тюрекиану и К. Видеполу [10].

На основании этого уравнения ДО подразделяются на классы качества по каждому тяжелому металлу и As. Выражение $C_n / 1,5B_n$ по сути дела представляет собой коэффициент накопления, где фоновое значение дается с определенным запасом [8, 11]. На основании данной классификации составляются карты загрязнения донных отложений по каждому элементу.

Также целесообразно использовать суммарный показатель токсического загрязнения — СПТЗ, разработанный для оценки загрязнения ТМ городских почв [12].

$$СПТЗ = \sum K_c K_T - (n-1) \quad (2)$$

$$K_c = C / C_{\phi}$$

где: C — содержание элемента в изучаемой среде; C_{ϕ} — фоновое содержание (глобальный или региональный фон); K_T — коэффициент токсичности химического элемента [12]; n — число учитываемых элементов. Допустимая категория загрязнения <16, умеренно опасная 16–32, опасная 32–128, чрезвычайно опасная >128.

Для мониторинга рек и водохранилищ и других водных объектов выделяются четыре таксона различных иерархических уровней, обязательными объектами при изучении загрязнения отложений природно-технологических структур являются каналы и коллекторы обводнительно-оросительных систем. Методологический подход применен в двух различных природно-геохимических районах — в гумидной зоне Мещерской низменности и в аридной зоне Республики Калмыкия.

В Мещерской низменности рассматриваются два участка четвертой категории, расположенные в Рязанской области — «Ольхи» и АО «Московское».

Участок «Ольхи» рассматривается в качестве псевдозакрытой системы, потенциальным барьером для миграции подавляющего большинства загрязнителей, переносимых по поверхности, является дренажная канава. Под потенциальным барьером понимается морфологическая ловушка, депонирующая почти все поступающие в нее загрязнители, из которой последние могут перемещаться только при значительном, относительно существующего природно-технологического состояния, повышении $E_{ак}$ — которое в конкретных условиях может вызываться только техногенным воздействием.

Точки отбора проб на участке «Ольхи»

№ пробы	Описание	Примечание
1с	Дренажная канава, выше коллектора, глубина отбора 1–15 см	Без воды
2с	Изгиб канала у коллектора, впадающего в промоину р. Старицы	Без воды
3с	Изгиб дренажной канавы	С водой
4с	Устье дренажного канала	Без воды
5с	Выход коллектора в р. Старица, ниже коллекторной трубы	С водой

Участок АО «Московское» является открытой системой, а потенциальным барьером для загрязнителей является весьма далеко расположенный коллектор. Для подобных участков опробования также целесообразно проводить в центральной и периферийной частях полей до начала весенних посадок и по завершению сбора урожая, так как в течение сельскохозяйственных работ возможно поступление различных техногенных загрязнителей.

Опробования проводились в центральной и периферийной части поля, а также в аналогичных пунктах дренажной канавы, вблизи опытного полевого эксперимента Мещерского филиала ФНЦ «ВНИИ-ГиМ им. А.Н. Костякова». Пробы были отобраны на разных объектах: в двух дренажных каналах, двух дренажных канавах и одном дренажном коллекторе, описание точек отбора приведено в табл. 1.

На территории Калмыкии были отобраны 13 образцов донных отложений основных водных объектов Сарпинской обводнительно-оросительной системы, а также донные отложения водохранилища Улан-Эрге на реке Элистинке, загрязненные биогенными веществами (рис. 1 и 2).

Подготовка проб донных отложений и почв и изучение их вещественного состава осуществлена в лаборатории ФНЦ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова». В качестве базовой методики оценки степени загрязнения отложений тяжелыми металлами использовалась приведенная выше система классификации по «индексу геоаккумуляции» [8, 11].

Обсуждение результатов

Состав макроэлементов почв и донных отложений участка «Ольхи» является типичным для Нечерноземной зоны России. При этом отмечено повышенное содержание фосфора и калия, что, видимо, связано с интенсивным использованием минеральных и органических удобрений. В осенний период содержание мышьяка, кобальта, меди, никеля, кадмия и ртути, на полях и в зоне потен-

циального барьера, находятся на уровне фоновых значений для большинства перечисленных элементов (табл. 2), так как между полями и дренажной канавой нет дополнительных источников загрязнений, а грунты на полях достаточно чистые.

Отмечается превышение во всех пробах фоновых значений по хрому и цинку — до умеренно загрязненного уровня [8, 11]. В весенний период после схода паводковых вод в ряде точек существенно выросло содержание меди, никеля, кадмия и свинца. При этом содержание меди и никеля практически не превысило фоновых значений, содержание кадмия и свинца — кроме точки 5с — не превысило умеренно загрязненного уровня. В точке 5с отмечен умеренно загрязненный уровень для мышьяка и цинка, средне загрязненный уровень для свинца. Во всех остальных точках концентрации цинка остаются практически на том же уровне, содержание кобальта также без изменений. Единственное значительное снижение концентраций на всем участке наблюдается для хрома — до незагрязненного уровня. Данная динамика может быть объяснена значительно усилившимся весной массообменом: паводковые воды активно приносят взвесь с окрестных водосборных площадей и автодорог, и одновременно уносят уже имеющийся поверхностный слой отложений.

На участке АО «Московское» и вблизи него не обнаружено источников загрязнения, оказывающих влияние на его экологическое состояние. Почвы участка по данным Мещерского филиала ФНЦ «ВНИИГиМ» в основном представлены суглинками, в профиле встречаются прослойки супесей и глин. По состоянию на 2017 год площадь сельскохозяйственных земель АО «Московское» составляла 2162,72 га, из них: пашни — 939,04 га (43,4 %), пастбищ — 849,29 га (39,3 %), сенокосов — 374,39 га (17,3 %) [13].

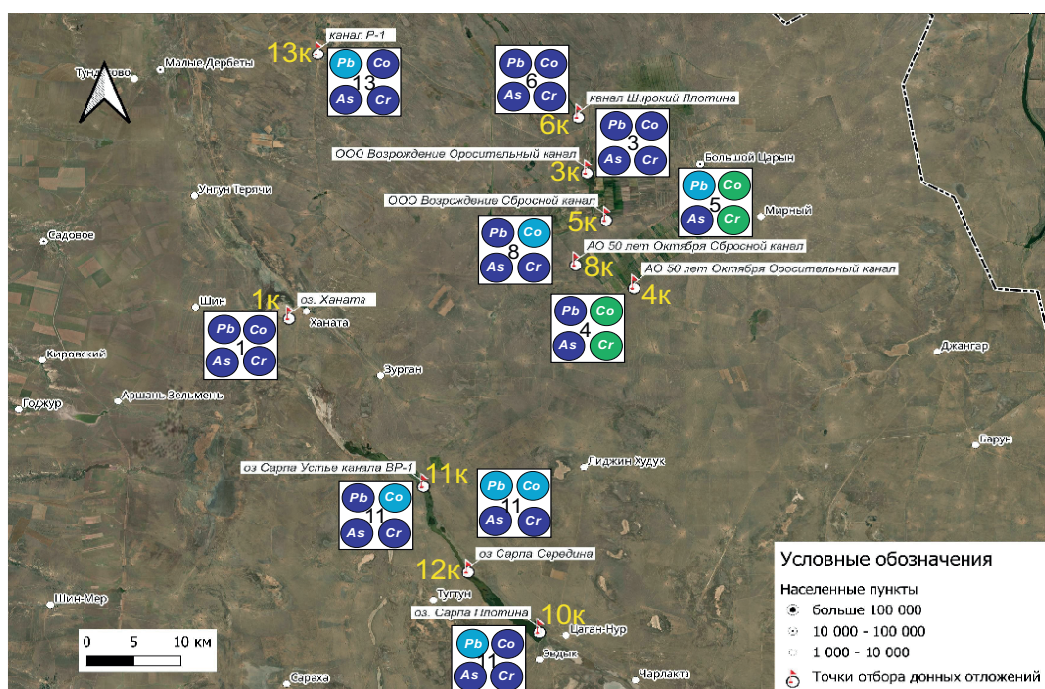
В октябре 2019 г. и в мае 2021 г. на участках отбора паводковых накоплений были отобраны пять

Таблица 2

Состав тяжелых металлов и As (мг/кг) почв и донных отложений на участке «Ольхи»:

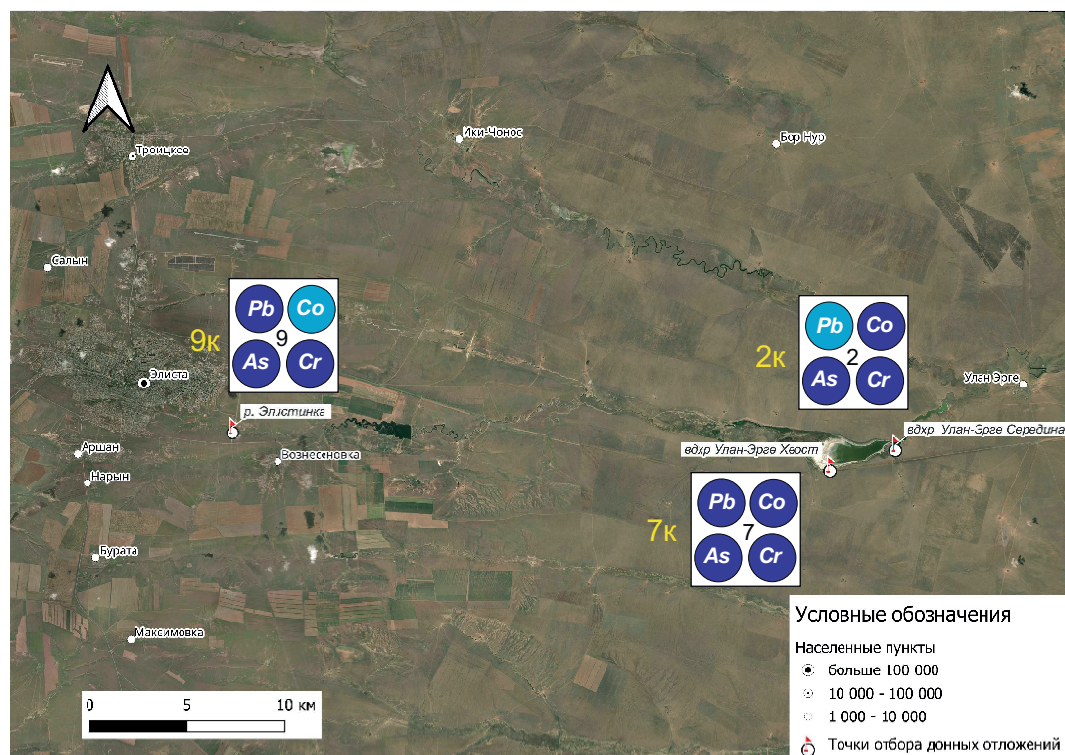
числитель — в октябре, знаменатель — в мае

№ пробы	Cr	Co	Cu	Ni	Zn	Cd	Hg	As	Pb
1с	243/128	8,5/9,0	23/43	23/47	159/166	0,07/0,3	0,066/0,116	9,6/12,8	0/40
2с	178/127	18,0/13,2	38/59	40/66	159/170	0,33/0,66	0,086/0,146	14,2/14,7	19/55
3с	211/111	13,0/12,5	37/47	37/53	142/146	0,25/0,60	0,088/0,121	11,1/11,8	44/34
4с	258/119	2,1/13,0	22/50	24/55	176/161	0,01/0,52	0,065/0,124	10,0/13,2	0/44
5с	200/102	14,0/12,7	30/51	38/55	216/300	0,36/0,55	0,094/0,121	8,6/30,8	24/164



- Условные обозначения уровней загрязнения:
- незагрязнённый (фон - 0 игео-класс);
 - от незагрязнённого до умеренно загрязненного (1 игео-класс);
 - умеренно загрязнённый (2 игео-класс)

Рис. 1. Загрязнение донных отложений водных объектов Сарпинской обводнительно-осушительной системы Pb, Co, Cr, As



- Условные обозначения уровней загрязнения:
- незагрязнённый (фон - 0 игео-класс);
 - от незагрязнённого до умеренно загрязненного (1 игео-класс)

Рис. 2. Загрязнение донных отложений реки Элистинки и водохранилища Улан-Эре Pb, Co, Cr, As

проб во втором чеке у канала № 2: три — почвы (6с, 7с и 8с) и две пробы донных отложений в дренажном канале (9с) и магистральном коллекторе (10с). Состав почв и донных отложений АО «Московское» является типичным для Нечерноземной зоны. Отмечено только повышенное содержание фосфора и калия, что, видимо, связано с интенсивным использованием минеральных и органических удобрений. Относительно загрязнения тяжелыми металлами, на полях участка АО «Московское» (6с, 7с и 8с) в дренажном канале (9с) и магистральном коллекторе (10с) в осенний период содержание мышьяка, кобальта, меди, никеля, кадмия и ртути находится в пределах фоновых значений. В магистральном коллекторе отмечается превышение во всех пробах фоновых значений по хрому, по цинку и свинцу — до умеренно загрязненного уровня (табл. 3). Данный факт, видимо, обусловлен близким расположением автомагистрали с интенсивным движением. В весенний период, как и на участке «Ольхи», наблюдается значительное снижение содержания хрома, практически до таких же значений. И только на участке 12с установлен его умеренный уровень загрязнения. Содержание кобальта и мышьяка остается достаточно стабильным, содержание меди и никеля в ряде точек с осени по весну незначительно повышается, однако не выходит за пределы незагрязненного уровня. Содержание кадмия и весной практически во всех точках опробования повышается до умеренно загрязненного уровня, однако не представляет серьезной опасности; содержание свинца стабильно на этом же уровне — и вместе с тем в результате мощного промыва существенно снизилось в магистральном коллекторе. Отмечено незначительное снижение содержания цинка, но в целом он остается на том же уровне загрязнения, что и в октябре.

При сравнении с данными аналитической лаборатории ФГБУ «Станция агрохимической службы «Рязанская» следует отметить более высокие значения по цинку, меди, хрому, что объясняется разницей в подходах к подготовке проб и аналитическим исследованиям. Все пробы приводились к единому гранулометрическому составу и нормировались на фракцию «физической глины» менее 20 мкм. По итогам проведенных исследований можно предположить, что с точки зрения загряз-

нения приведенными микроэлементами весенние паводки для участка «Московское» оказывают благотворное действие; также можно констатировать, что на обоих участках загрязнение достаточно стабильно и при этом не представляет существенной опасности, в том числе СПТЗ < 16.

Полевые и лабораторные исследования, проведенные в Калмыкии, не показывают значительного загрязнения тяжелыми металлами донных отложений обследованных природно-техногенных объектов. Эти объекты не испытывают техногенную нагрузку по данному показателю. В оросительном канале ООО «Возрождение» содержание Со в донных отложениях не обнаружено, а в сбросном оно находится на уровне второго класса — умеренного загрязнения, что, видимо, связано с использованием на мелиоративных объектах кобальтсодержащих удобрений, часть которых попадает в сбросные каналы. На основании полученных данных отмечено, что в донных отложениях содержание As, Zn, Ni, Fe и Cu находится на уровне фоновых значений (см. рис. 1 и 2). В отдельных районах присутствует умеренное загрязнение Pb, Co и Cr.

По суммарному показателю токсического загрязнения (СПТЗ) изученные отложения водных объектов Калмыкии относятся к допустимой категории (< 16). Как следует из карт, водные объекты Республики отличаются сравнительно небольшими площадями и объемами. При этом они немногочисленны и расположены на значительном расстоянии друг от друга на равнинном рельефе степного ландшафта, т.е. обладают весьма значительной площадью водосбора. Таким образом, приведенные водные объекты являются приемником различных загрязнителей, в том числе ТМ, с территории значительной части Республики, и являются индикатором ее загрязнения. На основании проведенных исследований и расчетов следует вывод об отсутствии значительного содержания ТМ в почвах Калмыкии.

Таким образом, относительно простая процедура оценки пространственного распределения загрязняющих веществ в системе «вода — донные отложения» водных объектов позволяет объективно формализовать огромные и разнообразные по гидрологическим особенностям территории, что является нетривиальной задачей при разработке эффективных систем контроля и принятия решений.

Таблица 3

Состав тяжелых металлов и As (мг/кг) почв и донных отложений на участке АО «Московское»:

числитель — в октябре, знаменатель — в мае

№ пробы	Cr	Co	Cu	Ni	Zn	Cd	Hg	As	Pb
6с	217/99	13,0/9,9	38/50	40/55	172/148	0,36/0,52	0,094/0,124	11,0/13,3	0/44
7с	262/123	15,6/13,0	47/59	35/66	203/178	0,15/0,75	0,087/0,140	18,6/12,8	31/41
8с	157/106	11,0/4,0	38/26	42/29	157/84	0,09/0,02	0,101/0,079	16,0/9,5	40/17
9с	192/136	18,0/16,5	28/58	47/65	179/155	0,53/0,76	0,109/0,134	11,0/13,1	43
10с	119/106	11,0/13,1	26/52	34/60	169/179	0,28/0,66	0,083/0,120	23,2/11,7	73/33
11с	/77	/12,5	/48	/54	/149	/0,52	/0,113	/12,0	/35
12с	/156	/12,8	/52	/58	/149	/0,41	/0,121	/12,2	/36

Выводы

1. Для обоснования выбора сети наблюдений выделяются участки 3-х категорий по природно-техногенным признакам. Для проведения специальных наблюдений — оценки выноса веществ с ландшафта или мелиорируемого объекта в водоприемники выделяются участки четвертой категории, для этих участков возможную миграцию загрязнителей целесообразно рассматривать с позиций энергетического подхода.

2. Процедура оценки пространственного распределения загрязняющих веществ в системе «вода — донные отложения» водных объектов позволяет эффективно формализовать огромные и разнообразные по гидрологическим особенностям территории, что является нетривиальной задачей при разработке эффективных систем контроля и принятия решений.

3. На исследуемых участках «Ольхи» и АО «Московское» в Мещерской низменности содержание в донных отложениях мышьяка, кобальта, меди, никеля, кадмия и ртути, как на полях, так и в зоне потенциальных барьеров, находится на уровне фоновых значений для большинства загрязнителей. Отмечается превышение во всех пробах фоновых значений по хрому и цинку. В магистральном коллекторе участка АО «Московское» содержание хрома, цинка и свинца соответствует умеренно за-

грязненному уровню, что может объясняться близкой автомагистралью с интенсивным движением.

4. Участок АО «Московское» является открытой системой, при этом потенциальным барьером для загрязнителей является дренажный коллектор близ реки Оки. Для подобных участков опробования целесообразно проводить в центральной и периферийной частях полей до начала весенних посадок и по завершению сбора урожая, поскольку в течение сельскохозяйственных работ возможно поступление различных техногенных загрязнителей. Явных других источников загрязнения, оказывающих влияние на экологическое состояние участка АО «Московское» не обнаружено.

5. В донных отложениях обследованных водных объектов Республики Калмыкия содержание мышьяка, цинка, никеля, железа и меди находится на уровне фоновых значений, в отдельных объектах отмечено умеренное загрязнение свинцом, кобальтом и хромом. Водные объекты Калмыкии, в силу особенностей ее ландшафтной системы, являются приемником различных загрязнителей, в том числе тяжелых металлов, с ее значительной территории, и являются индикатором ее загрязнения. На основании проведенных исследований и расчетов следует вывод об отсутствии значительного содержания тяжелых металлов в почвах Калмыкии.

Литература

1. Новосельцев В.Н., Бесфамильный И.Б., Кизяев Б.М. Техногенное загрязнение речных экосистем / Под ред. В.Е. Райнина, Г.Н. Виноградовой. — М.: Научный мир, 2002. — 140 с.
2. Коломийцев Н.В., Корженевский Б.И., Ильина Т.А., Гетьман Е.Н. Оценка техногенной нагрузки на водные объекты по загрязненности донных отложений // Мелиорация и водное хозяйство, 2015. № 6. — С. 15–19.
3. Толкачев Г.Ю., Коломийцев Н.В., Корженевский Б.И., Гетьман Е.Н. Специальные наблюдения за загрязнением тяжелыми металлами донных отложений водных объектов в системе мониторинга // Географический вестник, 2020. № 1 (52). — С. 139–154.
4. Корженевский Б.И., Коломийцев Н.В., Толкачев Г.Ю., Ильина Т.А. Принципы мониторинга водных объектов для изучения процессов и явлений при восстановлении плодородия почв и рекультивации деградированных мелиорированных земель // Безопасность жизнедеятельности, 2022. № 7. — С. 37–43.
5. Эколого-геологические условия России. Экологические функции литосферы как природное геологическое образование и их пространственное распределение на территории России: учебное пособие / В.Т. Трофимов, М.А. Харьковина, Т.А. Барабошкина и др. Т.1. — М.: «КДУ»; «Университетская книга», 2016. — 302 с.
6. Корженевский Б.И. Факторы миграции тяжелых металлов в водные объекты и на сопредельных территориях // Международный технико-экономический журнал, 2019. № 4. — С. 38–44.
7. Mueller G., Ottenstein R., Yahya A. Standardized particle size for monitoring, inventory, and assessment of metals and other trace elements in sediments: <20 µM or <2 µM? // Fresenius' Journal of Analytical Chemistry, 2001. V. 371. No. 5. — Pp. 637–642.
8. Mueller G. Schwermetalle in den Sedimenten des Rheins — Veraenderungen seit, 1971.
9. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных элементов в почвах. — М.: Изд-во АН СССР, 1957. — 235 с.
10. Turekian K. K., Wedepohl K. H. Distribution of the Elements in Some Major Units of the Earth's Crust // Geological Society of America, 1961. V. 72. — Pp. 175–192.
11. Моделирование эрозионных процессов на территории малого водосборного бассейна / Под ред. А.С. Керженцева, Р. Майснера. — М.: Наука, 2006. — 223 с.
12. Методические рекомендации по оценке загрязнения городских почв и снежного покрова тяжелыми металлами / В.А. Большаков, Ю.Н. Водяницкий, Т.И. Борисочкина, З.Н. Кахнович, В.В. Мясников. — М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 1999. — 32 с.
13. Пыленок П.И. Гидрология дренажа. — М.: ФНЦ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», 2024. — 171 с.

Сведения об авторах:

Толкачев Глеб Юрьевич, к.г.н., с.н.с., Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова» (ФНЦ ВНИИГиМ); г. Москва; e-mail: k-26@yandex.ru.

Дедова Эльвира Батыревна, д.с.-х.н., замдиректора, ФНЦ ВНИИГиМ; e-mail: dedova@vniigim.ru.

Расчет режима работ насосных станций магистрального водовода «Лена — Мюрю» в Центральной Якутии

А.М. Сальва, к.г.-м.н., Н.А. Цуранов, М.С. Иванова
Якутский институт водного транспорта

Для водоснабжения сельских районов Центральной Якутии 30 октября 1998 г. был введён в эксплуатацию и начал функционировать магистральный водовод «Лена — Мюрю». В статье рассматриваются насосные станции магистрального водовода и проводится расчет режима работ этих станций за период 2014–2017 годы. Также показан плановый объём перекачки воды из реки Лена, подаваемой насосными станциями во все действующие водохранилища района.

Ключевые слова: магистральный водовод, насосная станция, водохранилище, объём воды, Центральная Якутия.

Введение

В Якутии, особенно в юго-восточных районах, наиболее острой стояла и стоит проблема обеспечения населения качественной питьевой и технической водой. Еще в начале 70-х годов для водоснабжения и ирригации трех районов Якутской АССР рассматривался вариант перекачки вод реки Амга в верховья реки Татты. Система предполагала сооружения мощных насосных станций, напорных трубопроводов диаметром 1000 мм и длиной 43 км, поднимающих воду на высоту 152 м, и регулирующего водохранилища емкостью 88 млн м³. Из регулирующего водохранилища вода периодически должна была сбрасываться вниз по долине реки Татта и заполнять каскад из 19 постоянных и сезонных водохранилищ, расположенных на различных участках долины общей протяженностью 150 км. Однако этот проект по ряду причин был не реализован. И только в 90-х годах план строительства водоводов и перекачки речной воды, но только уже из реки Лена был благополучно осуществлен.

Учитывая критическое положение с водоснабжением сельских населенных пунктов заречных районов Республики Саха (Якутия) 15 июня 1992 г. выходит Постановление Правительства РС (Я) № 256 «О строительстве объектов водоснабжения группы заречных районов» и начинается проектирование и строительство системы магистрального водоснабжения, которые состоят из насосных станций, трубопроводов, водохранилищ и каналов [1].

Система магистрального водоснабжения Центральной Якутии состоит из трех ветвей водоводов: первая — р. Лена — пос. Туора Кюель и канал пос. Туора Кюель — р. Татта; вторая — водохранилище пос. Бедеме — пос. Тюнгюлю, вместе с насосной станцией, которая закачивает воду по трубопроводу в водохранилище Нал; третья — р. Лена — оз. Мюрю (с. Борогонцы). Эта третья ветка водовода и будет рассмотрена в данной статье.

Краткая природная характеристика территории

Магистральный водовод «Лена-Мюрю» имеет головную аванкамеру, два промежуточных водо-

хранилища (Бакыам, Булгуннахтаах) и четыре конечных водохранилища (Куосагас 1, Куосагас 2, Хоро, Маягас). Все водоёмы каждый год заполняются речной водой. Из них обеспечивается водоснабжение населённых пунктов с. Тумул, с. Борогонцы, п. Мандаба, п. Чаран, п. Носовка, п. Маягас с населением около 8 500 чел. Работают летние водопроводы в п. Мандаба, п. Чаран, п. Носовка, п. Маягас. Заканчивается магистральный водовод в с. Борогонцы на аласе Мюрю.

Аласы — это плоские округлые просадочные понижения, встречающиеся в районах развития многолетнемерзлых горных пород и образующиеся при потеплении климата и таянии подземных льдов. Алас Мюрю находится в Усть-Алданском улусе Якутии и является самым большим аласом в мире. Его общая площадь составляет 59,075 км². Периметр аласа — 21,5 км, наибольшая длина (с востока на запад) — 13,2 км, ширина в различных местах колеблется от трёх до девяти км. Алас Мюрю расположен между реками Лена и Амга в заречной зоне республики, входит в зону Лено-Амгинского междуречья. Здесь размещается административный центр с. Борогонцы. Рельеф характерный для аласов, окружён былларами (слабо пониженные участки, деформированные отдельными просадочными воронками и ложбинами) и байджерахами (останцы малоледистых достаточно прочных пород). Происхождение термокарстовое, высота береговых уступов составляет 20–25 м. Климат района резкоконтинентальный. Среднегодовая температура в районе оз. Мюрю 11,5°C, абсолютный максимум + 43°C, абсолютный минимум –57°C. Продолжительность безморозного периода — 78 дней. В год выпадает 262 мм осадков. Алас Мюрю содержит все главные типы почв, формирующихся на открытом пространстве в условиях засушливого климата Лено-Амгинского междуречья. Почва аласа Мюрю мерзлотная, палева, осолоделая, суглинистая, сильнощелочная, с сульфатно-хлоридным типом засоления. Мощность многолетнемерзлых горных пород около 400 м с участками более или менее интенсивного

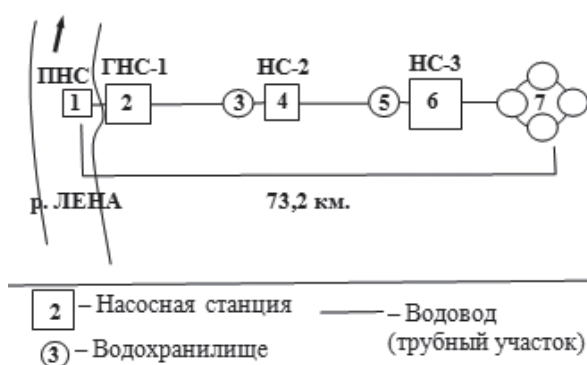


Рис. 1. Схема магистрального водовода «Лена-Мюрю»: 1) водозабор — плавучая насосная станция (ПНС); 2) головная насосная станция (ГНС-1) «Лена-Мюрю»; 3) водохранилище «Бакыям» в п. Тумул; 4) Тумульская насосная станция (НС-2); 5) водохранилище «Булгунньахтаах» в п. Сырдах; 6) Сырдахская насосная станция (НС-3); 7) водохранилище Мюрю (Куосагас 1, Куосагас 2, Хоро, Маягас в с. Борогонцы)

развития мерзлотных (криогенных) геологических процессов и явлений [2–3].

Когда-то многоводное одно большое озеро Мюрю превратилось в высыхающую с многочисленными островами водную гладь. Искусственное озеро образовалось на южной стороне аласа за счёт перекачивания воды из реки Лена.

Результаты и их обсуждения

Необходимость в водоснабжении возникла в связи с крайне малым количеством осадков (250–300 мм в год) и пересыханием озер. Первый забор воды из р. Лены был произведён в августе и сентябре 1993 г. Ленская вода впервые была подана головной насосной станцией в водоём Бакыям (с. Тумул). Водовод имеет три стационарных и одну плавучую насосную станцию с общей установленной мощностью 2050 кВт. Протяжённость трубопровода диаметром 530...630 мм — 73,2 км. Трубопровод проложен на лежачих и анкерных опорах. Во всех трех насосных станциях, кроме плавучей, используются насосы АН-400–100 (ЦН400–105).

Схема водоснабжения района следующая. Водозабор осуществляется плавучей насосной станцией (1) из реки Лена (см. рис. 1) возле пос. Соттинцы (Огородтах). Эту насосную станцию переставляют в зависимости от глубины реки. Далее вода поступает в головную насосную станцию (2)

водовода «Лена-Мюрю» им. А.П. Протопопова. Далее воду перекачивают в водоём Бакыям (с. Тумул) (3), затем насосной станций в Тумуле (4) речная вода поступает в водохранилище «Булгунньахтаах» (пос. Сырдах) (5) и Сырдахской насосной станцией НС-3 вода сбрасывается в водохранилище «Мюрю» пос. Борогонцы (7). Общий водоем состоит из группы небольших водохранилищ: Куосагас 1, Куосагас 2, Хоро, Маягас [4–7].

На рис. 2 показаны результаты перекачки, в виде гистограмм, объемов воды (м^3) подаваемых насосными станциями (НС) магистрального водовода «Лена — Мюрю» из поверхностных вод (река, озера-водохранилища) в водоемы населенных пунктов.

Тумульская насосная станция № 2 (п. Тумул). На рис. 2А показаны результаты, в виде гистограмм, перекачки воды НС № 2 из водохранилища «Быкаам» (п. Тумул) по трубопроводу в водохранилище «Булгунньахтаах» (п. Сырдах) в 2014 г., общий объем воды за июль составил 152800 м^3 .

На рис. 2Б показаны результаты в виде гистограмм перекачки воды НС № 2 (п. Тумул), за май — июнь — июль 2015 г., из водохранилища «Быкаам» (п. Тумул) по трубопроводу в водохранилище «Булгунньахтаах» (п. Сырдах), общий объем воды составил 407200 м^3 .

На рис. 2В показаны результаты в виде гистограмм перекачки воды НС № 2 (п. Тумул), за май — июнь — июль 2016 г., из водохранилища «Быкаам» (п. Тумул) по трубопроводу в водохранилище «Булгунньахтаах» (п. Сырдах), общий объем воды составил 657600 м^3 .

На рис. 2Г показаны результаты в виде гистограмм перекачки воды НС № 2 (п. Тумул), за май — июнь — июль — август 2017 г., из водохранилища «Быкаам» (п. Тумул) по трубопроводу в водохранилище «Булгунньахтаах» (п. Сырдах), общий объем воды составил 167200 м^3 [4–7].

Показатели работы насосных станций и объема водохранилищ магистрального водовода «Лена — Мюрю» в 2014 и 2017 гг. даны в табл.

Проанализировав режим работ насосной станции № 2 за период 2014–2017 гг., можно сделать вывод, что больше всего было перекачано в 2016 г. — это связано с тем, что работало 2 насосных агрегата, а меньше всего было перекачано в 2014 и 2017 году, из-за проблем с насосами и перебоями электроэнергетики.

Таблица

Показатели работы насосных станций в 2014–2017 гг.

№ п / п	Наименование насосных станций	Объем подачи воды, тыс. м^3	
		2014 г.	2017 г.
1	Плавучая (ПНС)	389	400
2	Головная (ГНС-1)	805	600
3	Тумульская (НС-2)	615	530
4	Сырдахская (НС-3)	360	350
5	Летний водопровод Куосагас (ЛВК)	18	20
	Итого:	2187	1900

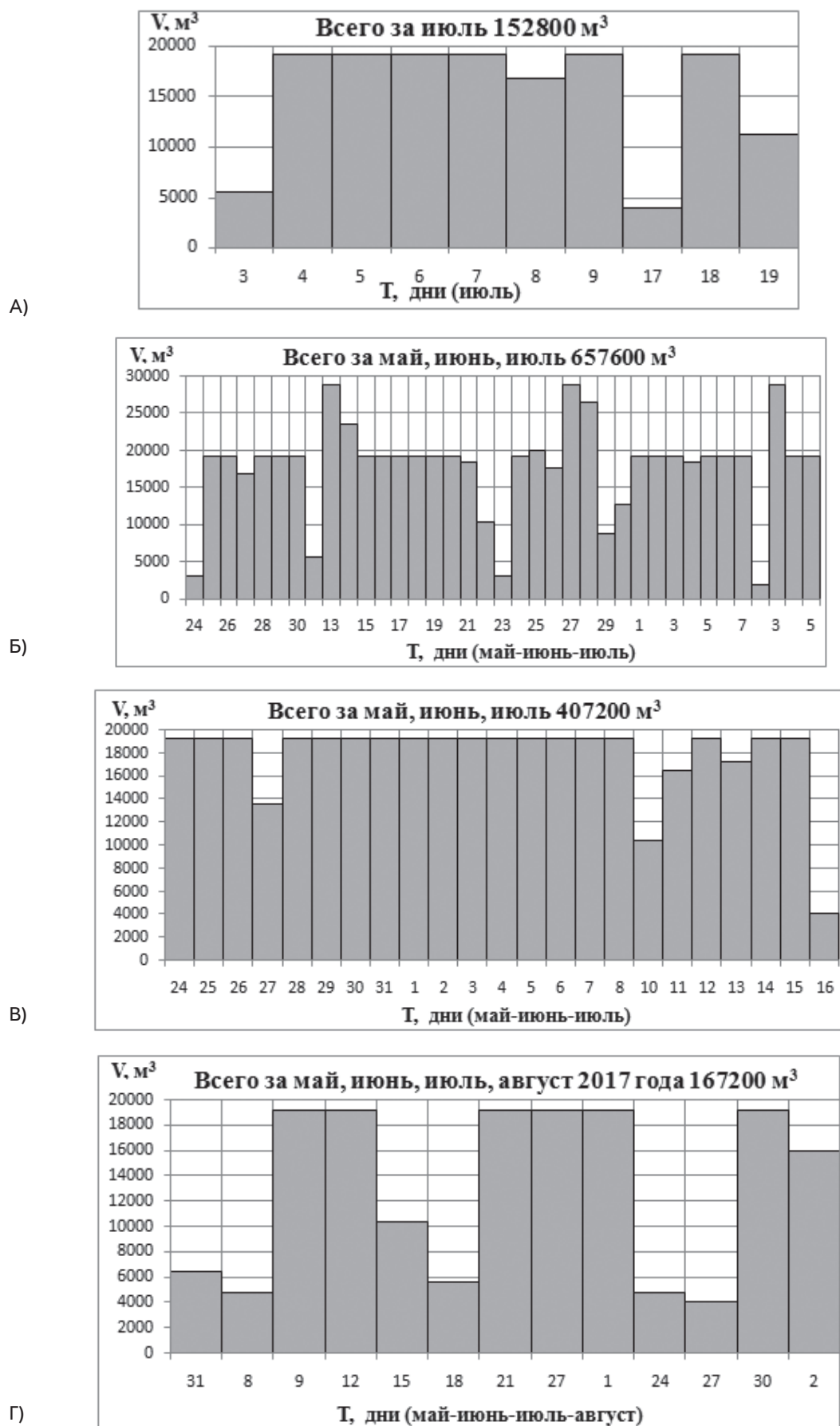


Рис. 2. Гистограмма перекачки воды НС № 2 из водохранилища «Быкаам» (п.Туммул) по трубопроводу в водохранилище «Булгунняхтаах» (п.Сырдах): А — 2014 г.; Б — 2015 г.; В — 2016 г.; Г — 2017 г.

Таким образом, возможность водоснабжения поселков расположенных по трассе магистрально-

го водовода Лена — Мюрю Усть-Алданского района Республики Саха (Якутия) благополучно решена.

Литература

1. История мелиорации и водного хозяйства Якутии / Минсельхоза Республики Саха (Якутия), ГУ «Управление по мелиорации земель сельскохозяйственному водоснабжению» / Сост. В.С. Андросов и др. — Якутск: Бичик, 2009. — 200 с.
2. Атлас Республика Саха (Якутия). — Якутск; Москва: Роскартография, 2000. — 64 с.
3. Босиков Н.П. Техногенные термокарстовые разрушения межлассных ландшафтов Лено-Амгинского междуречья // Криосфера Земли, 2004. Т. VIII. № 4. — С. 12–14.
4. Сальва А.М. Магистральное и групповое водоснабжение населенных пунктов в заречных районах Центральной Якутии // Известия высших учебных заведений. Строительство, 2015. № 6 (678). С. 50–54.
5. Сальва А.М. Магистральный водовод «Лена — Мюрю» в Центральной Якутии // Гидротехническое строительство, 2016. № 1. — С. 18–20.
6. Сальва А.М. Система магистрального водоснабжения в Центральной Якутии. — Якутск: СВФУ, 2017. — 110 с.
7. Salva A. M. Use of Pumping Stations and Reservoirs for Water Supply in Rural Areas of Central Yakutia. Materials Science and Engineering. International Science and Technology Conference (6th-9th October 2020, Russky Island, Russia), 2021. — С. 072001.

Сведения об авторах:

Сальва Андрей Михайлович, к.г.-м.н., доцент кафедры технических направлений подготовки Якутского института водного транспорта (филиал) ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет водного транспорта» (Новосибирск); e-mail: salvaam@mail.ru.

Цуранов Никита Александрович, студент 4-го курса кафедры технических направлений подготовки Якутского института водного транспорта; e-mail: tsuranov_nikita@mail.ru.

Иванова Мария Сергеевна, студентка 4-го курса кафедры технических направлений подготовки Якутского института водного транспорта; e-mail: maria.ivanova30091975@gmail.com.

Короткие сообщения

Счетная палата РФ о водопользовании

24 июня Счетная палата РФ по результатам аудита эффективности администрирования платежей за пользование водными объектами выявила значительные резервы поступлений по данному виду доходов в федеральный бюджет.

СП РФ обратила внимание на то, что доля платы за забор воды из водных объектов в себестоимости продаж водопользователей, не являющихся предприятиями электроэнергетики и ЖКХ, составляет менее 0,01%. По мнению Счетной палаты, при увеличении ставок в 10 раз доля платы за забор воды сохранится на уровне менее 0,1%, что принесёт дополнительно в бюджет около 32 млрд рублей.

Счетная палата обратила внимание на то, что многие водопользователи осуществляют забор воды без установки соответствующих водоизмерительных приборов. Для таких водопользователей в 2019 г. был установлен повышающий коэффициент в размере 1,1 к ставке платы. В 2023 г. в целом по стране без измерительных приборов было забрано около 33% от общего объема забранных водных ресурсов из поверхностных источников. Счетная палата предлагает увеличить повышающий коэффициент с 1,1 до 10 для водопользователей, не имеющих водоизмерительных приборов. По мнению СП РФ это принесет в бюджет дополнительно ещё около 12 млрд рублей.

Следует отметить, что плата за воду для промпредприятий в России действительно невысока, но в условиях снижающейся рентабельности агросектора ее повышение может оказаться весьма существенным для многих сельскохозяйственных предприятий и под угрозой могут оказаться не только проекты, связанные с орошением и мелиорацией, но и проекты в растениеводстве и животноводстве.

Аграрный центр МГУ

Лесные ресурсы

EDN DYISVP

УДК 504.062

ESG и добровольная лесная сертификация по системе «Лесной эталон»

Д.В. Юдаева¹, Т.И. Сорокина², Т.О. Яницкая³, Н.М. Шматков³, Е.А. Шварц⁴, д.г.н.

¹ООО «АКРА РМ»

²АО «АКРА»

³Система добровольной лесной сертификации «Лесной эталон»

⁴Институт географии РАН

В статье освещаются результаты сравнения подходов и требований добровольной лесной сертификации (на примере системы «Лесной эталон») с таксономией зеленых и адаптационных проектов ВЭБ.РФ, а также показателей, используемых в методологиях агентств, присваивающих ESG-рейтинги. Сравнение позволило выявить многочисленные пересечения и показать общее между этими тремя разными системами. Большинство пересечений выявлено по отношению к показателям методологий присвоения ESG-рейтингов. Доля пересечений критериев системы «Лесной эталон» с таксономией зеленых и адаптационных проектов ВЭБ.РФ значительно ниже, но тем не менее является значимой. Авторы рекомендуют рейтинговым агентствам, а также ВЭБ.РФ, являющемуся методологическим центром по финансовым инструментам устойчивого развития, отражать сходство с системами добровольной лесной сертификации в своих продуктах. Это позволит создать более комплексную систему оценки с точки зрения достижения целей устойчивого развития.

Ключевые слова: ESG-рейтинг, лесоуправление, добровольная сертификация, «Лесной эталон».

Введение

В настоящее время методологии [1, 2] рейтинговых агентств, аккредитованных Банком России и присваивающих ESG-рейтинги, а также таксономия [3] зеленых и адаптационных проектов ВЭБ.РФ учитывают сертификацию лесозаготовительных и лесоперерабатывающих компаний и ее воздействие на социальные и экологические аспекты в незначительной степени.

Однако влияние сертификации в сфере лесоправления гораздо масштабнее в силу предмета сертификации и распространяется не только на эффективность управления, но также и на социальные и экологические аспекты, включая климат. Например, выделяются и сохраняются наиболее экологически и социально ценные участки лесов, на вырубках сохраняются участки материнского древостоя, принимаются меры по защите интересов коренных народов и местных жителей, осуществляется усиленный контроль соблюдения работниками техники безопасности и мн. др. [4]. Благодаря этому сертифицированные леса, кото-

рые служат источником сырья для сертифицированной лесобумажной продукции, значительно лучше выполняют свои экологические и социальные функции [5, 6, 7].

В настоящее время растет спрос на сертифицированную продукцию на внутреннем рынке, крупные торговые сети выставляют требования (обязательные или рекомендательные) к поставщикам по поставке сертифицированной лесобумажной продукции и упаковки. Использование конечными потребителями сертифицированной продукции для бизнеса и в быту (офисная бумага, санитарно-гигиеническая продукция, мебель, строительные и отделочные материалы и др.) позволяет им сделать существенный вклад в сохранение и предотвращение деградации лесов.

Цель исследования состоит в сравнении подходов и требований добровольной лесной сертификации на примере системы «Лесной эталон» с таксономией зеленых и адаптационных проектов ВЭБ.РФ, а также показателей, используемых в методологиях агентств, присваивающих ESG-

рейтинги. Для этого было проведено детальное сопоставление критериев трех систем: системы «Лесной эталон», таксономии зеленых и адаптационных проектов ВЭБ.РФ и показателей, используемых в методологиях российских агентств, аккредитованных Банком России и присваивающих ESG-рейтинги. Эти три системы никак не связаны между собой, и каждая из них решает свои задачи, поэтому полное совпадение критериев невозможно. Несмотря на это, как показано ниже, их сравнение позволило выявить многочисленные пересечения и показать общее между ними.

Результаты исследования

Система «Лесной эталон» имеет в основе 10 принципов ответственного управления лесами [4]. Каждый принцип представляет собой какой-либо основной элемент или правило ответственного управления лесами, а все вместе они обеспечивают экологическую приемлемость, социальные выгоды и экономическую жизнеспособность лесопользования. Каждый принцип конкретизирован несколькими критериями, которые нужны для того, чтобы оценить, насколько успешно принцип применяется на практике.

Чтобы правильно интерпретировать результаты исследования, нужно знать, что представляют собой эти 10 принципов. Некоторые из них непосредственно требуют сохранения природных или

социальных ценностей, другие нужны для правильного функционирования всей системы управления лесами и поэтому имеют общий характер. Краткая характеристика принципов приведена в табл. 1.

Первичный анализ табл. 1 указывает на взаимосвязь таксономии зеленых и адаптационных проектов ВЭБ.РФ и показателей методологий присвоения ESG-рейтингов прежде всего с принципами 3, 4, 6 и 9 системы «Лесной эталон». Также есть параллели с принципами 5 и 10, а вот принципы 1, 7 и 8 в силу их общего характера ожидаемо оказываются в основном вне данного поля.

Анализ рис. 1 и 2 показывает взаимосвязь требований системы «Лесной эталон» с таксономией зеленых и адаптационных проектов ВЭБ.РФ и с показателями методологий присвоения ESG-рейтингов. Наиболее частые пересечения характерны для критериев принципа 9 «Высокие природоохранные ценности» (100% пересечений критериев в обоих случаях) и принципа 6 «Природные ценности и воздействие на них» (80% и 30% пересечений соответственно).

Принципы: 2 «Права работников и условия труда», 3 «Права коренных народов» и 4 «Отношения с местным населением» на 100% пересекаются только с показателями методологий присвоения ESG-рейтингов. Возможно, в перспективе данные принципы получают отражение в национальной так-

Таблица 1

Принципы системы сертификации «Лесной эталон»

Принцип	Характеристика
1. Соответствие законодательству	Общий принцип. Требуется соблюдения всего применимого законодательства, нормативов и международных договоров, конвенций и соглашений, ратифицированных страной. Отдельно отмечена необходимость антикоррупционных мер
2. Права работников и условия труда	«Социальный» принцип. Требуется поддерживать и укреплять социальное и экономическое благосостояние работников предприятия
3. Права коренных народов	«Социальный» принцип. Требуется выявлять и соблюдать права коренных народов, которые могут быть нарушены в результате хозяйственной деятельности. Имеет процессный характер — то есть, невыполнение первого критерия автоматически означает невыполнение всех последующих, поэтому при анализе параллели проводились с принципом целиком
4. Отношения с местным населением	«Социальный» принцип. Требуется способствовать поддержанию или повышению социального и экономического благосостояния, а также выявления и соблюдения прав местного населения
5. Полезности леса	«Экономический» принцип, нацелен на поддержание экономической жизнеспособности предприятия, однако с учетом необходимости сохранения ресурсного потенциала лесов
6. Природные ценности и воздействие на них	«Экологический» принцип, требует принятия мер по сохранению широкого спектра природных ценностей, включая экосистемные функции, биоразнообразие, почвы, воды и др.
7. Планирование хозяйства	Общий принцип. Содержит требования к процессу планирования хозяйства на всех уровнях и в отношении всех аспектов ведения хозяйства
8. Мониторинг и оценка	Общий принцип. Требуется реализации адаптивного управления путем мониторинга и оценки успехов в достижении целей управления
9. Высокие природоохранные ценности	«Экологический» принцип, дополняет принцип 6. Также требует сохранения социально значимых участков леса, т. е. является также отчасти «социальным». Имеет процессный характер, поэтому при анализе параллели проводились с принципом целиком
10. Осуществление хозяйственной деятельности	Общий принцип, но большинство критериев являются чисто «экологическими», некоторые из них дополняют 6 и 9 принципы

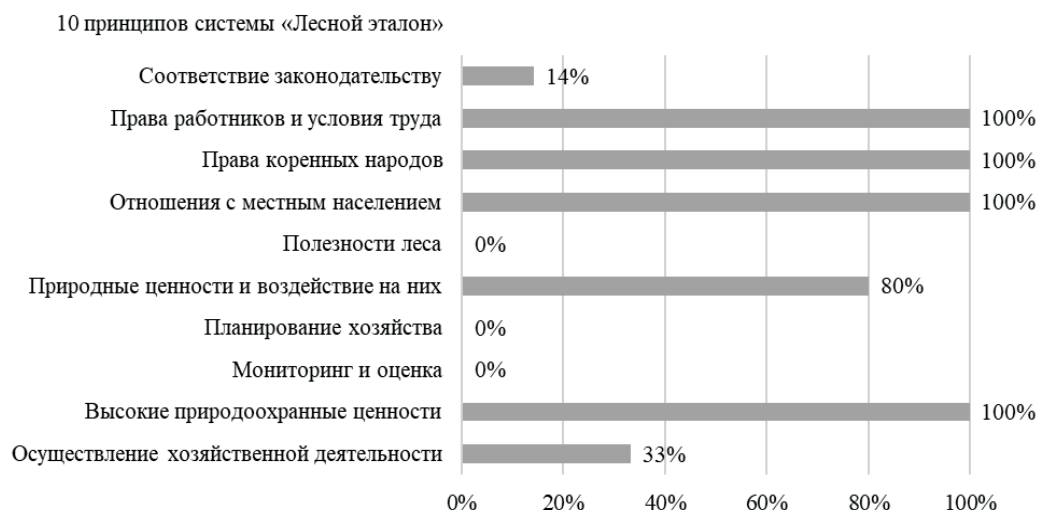


Рис. 1. Доля пересечений принципов и критериев системы «Лесной эталон» с показателями, используемыми в методологиях присвоения ESG-рейтингов



Рис. 2. Доля пересечений критериев принципов сертификации «Лесной эталон» с таксономией зеленых и адаптационных проектов ВЭБ.РФ

сономии социальных проектов, однако на момент подготовки статьи она еще не была утверждена [8].

С критериями принципов 1, 7 и 8 («Соответствие законодательству», «Планирование хозяйства», «Мониторинг и оценка») пересечения ожидаемо просматриваются слабо в силу разных функций и задач рассматриваемых систем, но при более широкой интерпретации критериев (без привязки к лесному управлению) выявляются точки соприкосновения как с таксономией, так и с отдельными методологиями рейтинговых агентств. Например, план управления (принцип 7 «Планирование хозяйства») находит отражение в стратегиях устойчивого развития компаний со своими целевыми показателями эффективности, что в свою очередь учитывается при присвоении ESG-рейтингов.

Полная матрица сопоставления критериев системы «Лесной эталон» с таксономией зеленых и адаптационных проектов ВЭБ.РФ и показателями, используемыми в методологиях агентств, присваивающих ESG-рейтинги, приведена в табл. 2.

Система добровольной лесной сертификации «Лесной эталон»

«Лесной эталон» — российская система добровольной лесной сертификации, пришедшая на смену международной схеме FSC (Forest Stewardship Council). Система начала свою работу в апреле 2022 г. и переняла все подходы FSC и требования ее стандартов. Российские национальные стандарты FSC разрабатывались российскими экспертами в рамках международных подходов, действующих в FSC [10].

По схеме FSC к 24 февраля 2022 г. в России было сертифицировано около 63 млн га лесов (примерно треть площади лесов, переданных в аренду с целью заготовки древесины), более 1000 компаний, включая лесопользователей, лесопереработчиков и трейдеров, имели сертификаты FSC. Стандарты FSC для России были разработаны на основе равного участия сотрудников лесопромышленных компаний, экологических организаций и организаций социальной направленности, с вовлечением представителей коренных народов

Пример сопоставления принципов и критериев системы добровольной сертификации «Лесной эталон» с таксономией зеленых и адаптационных проектов и показателей, использующихся в ESG-рейтингах

<i>Критерии* системы добровольной лесной сертификации «Лесной эталон» [4]</i>	<i>Таксономия зеленых и адаптационных проектов [9]</i>	<i>Показатели ESG — рейтингов</i>
ПРИНЦИП 6 «ПРИРОДНЫЕ ЦЕННОСТИ И ВОЗДЕЙСТВИЕ НА НИХ»		
6.4. Защищать <i>редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды и их местообитания...</i>	7.1.1. Сохранение и восстановление редких, занесенных в Красную книгу РФ или находящихся на грани уничтожения видов животных и растений. 7.1.2. Сохранение и восстановление среды обитания редких, занесенных в Красную книгу РФ или находящихся на грани уничтожения видов животных и растений	Мероприятия по защите редких или находящихся на грани уничтожения видов животных и растений
6.6. Эффективно поддерживать непрерывное существование естественно встречающихся <i>местных видов и генотипов</i> и предотвращать утрату <i>биологического разнообразия...</i> Демонстрировать принятие эффективных мер по управлению и контролю за охотничьим и рыболовным промыслами, а также отловом животных при помощи ловушек и капканов, и собирательством	7.1.2. Сохранение и восстановление среды обитания редких, занесенных в Красную книгу РФ или находящихся на грани уничтожения видов животных и растений	Мероприятия по защите редких или находящихся на грани уничтожения видов животных и растений
6.7. Защищать и восстанавливать <i>естественные водотоки, водные объекты, прибрежные зоны и их связанность.</i> Избегать негативного воздействия на качество и количество воды и смягчать негативные последствия, если они наступили	6.4.2. Проекты, направленные на снижение концентрации загрязняющих веществ в сточных водах. 6.5. Реализация проектов, направленных на повышение эффективности использования водных ресурсов (6.5.1. Уменьшение водозаборного изъятия воды из водных источников)	Мероприятия по охране водных ресурсов
ПРИНЦИП 9 «ВЫСОКИЕ ПРИРОДООХРАННЫЕ ЦЕННОСТИ»		
9.1. Провести оценку на предмет наличия, зафиксировать и установить статус ... <i>высоких природоохранных ценностей (ВПЦ)...</i>	7.2.2. Сохранение особо ценных лесов	Мероприятия по минимизации негативного воздействия на окружающую среду; взаимодействие с ЗС
9.2. Разработать эффективные стратегии по поддержанию и/или увеличению выявленных <i>ВПЦ...</i>	7.2.2. Сохранение особо ценных лесов	Мероприятия по минимизации негативного воздействия на окружающую среду
9.3. Рализовывать стратегии и предпринимать действия по поддержанию и/или улучшению выявленных <i>ВПЦ...</i>	7.2.2. Сохранение особо ценных лесов	Мероприятия по минимизации негативного воздействия на окружающую среду
ПРИНЦИП 10 «ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ»		
10.1. После проведения лесозаготовок и/или согласно <i>плану управления</i> обеспечить своевременное <i>восстановление лесного покрова</i> до его <i>исходного (до начала рубки) состояния</i> или до более <i>естественного состояния</i> методами естественного или искусственного <i>лесовосстановления.</i>	7.2.1. Проведение лесовосстановления и лесоразведения с полным многолетним уходом за созданными лесными насаждениями на землях лесного фонда	Мероприятия по минимизации негативного воздействия на окружающую среду
10.12. <i>Обращаться с отходами</i> экологически приемлемыми способами	1.1.3. Создание и модернизация комплексных объектов по обработке отходов	Мероприятия по обращению с отходами

*Текст критериев дается с сокращениями

и российской науки. На сертифицированных лесных участках выполнялись строгие требования по сохранению редких и исчезающих видов растений и животных, сохранялись мало нарушенные хозяйственной деятельностью леса (включая те, ко-

торые еще не имели государственного охранного статуса), планы лесопользования согласовывались с экологическими организациями, местным населением и коренными народами, а на сертифицированных предприятиях осуществлялся дополни-

тельный контроль соблюдения прав работников и их безопасности.

В силу геополитических событий FSC прекратил действие своих сертификатов в России. Чтобы не потерять все позитивные изменения в лесном секторе, достигнутые за годы работы FSC, бывший коллектив FSC России решил продолжить деятельность, создав систему «Лесной эталон». В стандартах, системе аудитов и контроля качества сертификации сохранены все международные подходы, требования и практики. Сейчас «Лесной эталон» — это более 9 млн га сертифицированных лесов в 26 регионах России, более 500 сертифицированных компаний [10], в том числе в Беларуси и Казахстане.

ESG-рейтинг

ESG-рейтинг представляет собой мнение агентства о том, в какой степени процесс принятия ключевых бизнес-решений в компании ориентирован на устойчивое развитие. Оценка уровня ESG-рейтинга, наряду с оценкой кредитного рейтинга, является важной характеристикой деятельности компании. В ESG-рейтингах основной акцент, в отличие от кредитных рейтингов, делается на приверженности компаний принципам ответственного ведения своей деятельности в экологической, социальной и экономической сферах и используется для оценки эффективности управления компанией и прогнозирования возможных корпоративных рисков, а также рисков в экологической и социальных сферах.

В России услуги по присвоению ESG-рейтингов оказывают 4 аккредитованных Банком России агентства (АКРА, Эксперт РА, НРА, НКР). Рейтинговые агентства разрабатывают собственные методологии присвоения ESG-рейтингов, предполагающие поэтапную оценку нескольких категорий данных. Набор вопросов и параметров может варьироваться в зависимости от конкретной методологии рейтингового агентства. Как правило, критерии оценки включают экологические, социальные и управленческие параметры, включая подверженность ESG-рискам (риски имеют отраслевую специфику и определяются агентствами) и управление ESG-рисками (включая политики, практики, процессы управления). Единой классификации тем и показателей в рамках рейтингов ESG не существует, поэтому каждое рейтинговое

агентство самостоятельно определяет структуру ключевых ESG-показателей. Наиболее часто используемые темы в ESG методологиях агентств представлены в *табл. 3*.

Таксономия зеленых и адаптационных проектов

Российская таксономия зеленых и адаптационных проектов утверждена Постановлением Правительства РФ в сентябре 2021 г. [9]. При разработке таксономии и стандарта учтены национальные приоритеты и ведущие международные практики (ICMA, CBI, IDFC, ЕС). Зеленые проекты могут выполняться в энергетике, промышленности, сельском хозяйстве, строительном комплексе, водоснабжении и водоотведении, могут иметь целью создание устойчивой инфраструктуры или сохранение природных ландшафтов, водных объектов и биоразнообразия. Зеленый проект должен быть направлен на достижение целей устойчивого развития или целей Парижского соглашения, приводить к значительному положительному воздействию на окружающую среду, отвечать требованиям российского природоохранного законодательства, соответствовать технологическим показателям НДТ. Приоритетные цели зеленых проектов включают: сохранение или улучшение состояния окружающей среды; предотвращение или снижение эмиссий загрязняющих веществ; сокращение выбросов парниковых газов; повышение ресурсной эффективности экономики.

Выводы и рекомендации

Сопоставление системы добровольной сертификации «Лесной эталон» с таксономией зеленых и адаптационных проектов, а также с показателями методологий присвоения ESG-рейтингов, позволило выявить важные общие принципы и критерии, которые могут быть использованы для создания более комплексной системы оценки с точки зрения устойчивого развития.

В результате сравнения трех систем большинство пересечений выявлено по отношению к показателям методологий присвоения ESG-рейтингов (53%). Доля пересечений критериев системы «Лесной эталон» с таксономией зеленых и адаптационных проектов составляет 12%. Пересечения с национальной

Таблица 3

Наиболее часто используемые темы рейтингов ESG*

Экологические аспекты	Социальные аспекты	Аспекты управления
Водопользование	Права человека	Добросовестная конкуренция
Биоразнообразие	Условия и безопасность труда	Деловая этика
Управление отходами и выбросами	Человеческий капитал	Противодействие мошенничеству и коррупции
Изменение климата	Местные сообщества	Налоговая прозрачность
Энергопотребление	Качество продукции	Риск-менеджмент
Экологическое воздействие в цепочке поставок	Социальное воздействие в цепочке поставок	Антимонопольные практики

*Данный перечень тем не является исчерпывающим

таксономией социальных проектов на текущий момент не выявлены, так как она еще не утверждена.

Можно утверждать, что есть большее сходство требований добровольной лесной сертификации с методологией присвоения ESG-рейтингов, и меньшее, но тем не менее значимое сходство с таксономией зеленых и адаптационных проектов. Это неудивительно, так как цели этих столь разных проектов по большому счету совпадают, потому что опираются на цели и общие принципы устойчивого развития.

Мы считаем, что общественно значимые результаты в области экологического и социального воздействия, к которым приводит сертификация компаний по добровольным системам [10], на сегодняшний момент недостаточно учтены методологиями присвоения ESG-рейтингов. В связи с этим рейтинговым агентствам, а также ВЭБ.РФ, являющемуся методологическим центром по финансовым инструментам устойчивого развития, рекомендуется уделить больше внимания и предметного углубления по вопросам лесного хозяйства, учесть требования разных систем добровольной лесной сертификации («Лесной эталон», «Устойчивый лес», SFMRU/38200 и др.) и провести аналогичные сравнения систем.

Агентствам следует рассмотреть включение добровольной лесной сертификации в методологии

ESG-рейтингов и возможность учета этого фактора при оценке компании. Это позволит создать более полную систему оценки в части лесного управления. Наличие у компании добровольной лесной сертификации также может быть включено в таксономию зеленых проектов. Примером того, как российский аналог международных систем WELL, BREEAM и LEED был успешно адаптирован в России и включен в критерии соответствия зеленым проектам таксономии по направлению «Строительство «зеленых» зданий и сооружений», является система оценки и сертификации зданий КЛЕВЕР (CLEVER) [11].

Можно также сделать вывод, что если организация прошла добровольную лесную сертификацию «Лесной эталон», то она следует в своей деятельности базовым требованиям устойчивого развития в сфере лесопользования, что также может быть условно учтено при присвоении ESG-рейтинга.

При этом важно отметить, что стандарты разных систем добровольной лесной сертификации, их применение, а, следовательно, и результаты для предприятий, лесов и общества значительно различаются, что необходимо учитывать в методиках рейтингования.

Исследование выполнено по теме госзадания ИГ РАН FMWS-2024–0007 (1021051703468–8).

Литература

1. Принципы присвоения ESG-рейтингов нефинансовым компаниям // АКРА, 2024. URL: https://www.acra-ratings.ru/upload/iblock/meth/20240322_ESG%20Methodology_Appendix_Non-Financial_.pdf
2. Методология присвоения рейтингов ESG // Рейтинговое агентство Expert, 2023. URL: <https://raexpert.ru/docbank//57b/a7d/e85/35827e11353acf8098e2db0.pdf>
3. Методология зеленых финансов // ВЭБ.РФ. URL: <https://veb.ru/ustojchivoe-razvitie/zelfinansirovanie/metodologiya/>
4. Стандарт лесопользования системы добровольной лесной сертификации «Лесной эталон». URL: <https://app.box.com/s/qw8ivc0qld10wqy5pjoysb98pmo7x1z>
5. Paluš H., Krahulcová M., Parobek J. Assessment of forest certification as a tool to support forest ecosystem services // Forests, 2021. V. 12. № 3. — P. 300.
6. Hăldăușan A. F. et al. Health and safety issues in Romanian forests: Findings from FSC certification audits // Forests, 2022. V. 13. № 5. — P. 714.
7. Zwerts J. A. et al. FSC-certified forest management benefits large mammals compared to non-FSC // Nature, 2024. V. 628. — Pp. 563–568.
8. В России разработали таксономию социальных проектов // TACC, 2023. URL: <https://tass.ru/ekonomika/17631565>
9. Постановление Правительства РФ от 21.09.2021 № 1587 (ред. от 30.12.2023) «Об утверждении критериев проектов устойчивого (в том числе зеленого) развития в Российской Федерации и требований к системе верификации инструментов финансирования устойчивого развития в Российской Федерации».
10. Shvarts E.A., Voropaev A.I., Ptichnikov A.V., Baibar A.S. Market-Oriented Mechanisms of Environmental Responsibility and Global Environmental Regulation // Regional Research of Russia, 2024. V. 14. № 4. — Pp. 608–624.
11. Порядок проведения сертификации Клевер. URL: <https://clevercert.ru/certification/>

Сведения об авторах:

Юдаева Дарья Владимировна, руководитель направления ESG-консалтинга ООО «АКРА РМ»; e-mail: darya.yudaeva@acra-rm.ru

Сорокина Татьяна Игоревна, старший аналитик группы оценки рисков устойчивого развития АО «АКРА»; e-mail: tatiana.sorokina@acra-ratings.ru

Яницкая Татьяна Олеговна, заместитель директора, руководитель отдела стандартов и качества системы добровольной лесной сертификации «Лесной эталон»; e-mail: t.yanitskaya@forest-etalon.ru

Шматов Николай Михайлович, директор системы добровольной лесной сертификации «Лесной эталон»; e-mail: n.shmatkov@forest-etalon.ru

Шварц Евгений Аркадьевич, д.г.н., г.н.с., руководитель Центра ответственного природопользования Института географии РАН, проф. факультета географии и геоинформационных технологий НИУ ВШЭ; e-mail: e.a.shvarts@igras.ru

Анализ динамики пожарной опасности по условиям погоды в Саратовской области в пожароопасный период 2020 года

П.С. Халин, М.А. Козаченко, к.с.-х.н.

Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н.И. Вавилова

Статья посвящена анализу пространственно-временной динамики класса пожарной опасности по условиям погоды в различных частях Саратовской области в течение пожароопасного периода 2020 года. Результаты показали существенные различия в динамике пожарной опасности между районами. Южная часть области характеризовалась наиболее экстремальными значениями с продолжительными периодами максимальной опасности. Северная и восточная части отличались высокой изменчивостью показателей с резкими переходами между классами опасности. Западная зона демонстрировала относительную стабильность высоких показателей. Полученные результаты подтверждают необходимость дифференцированного подхода к оценке пожарных рисков и могут служить основой для разработки адаптивных стратегий противопожарной защиты лесов.

Ключевые слова: лесные пожары, пожарная опасность, метеорологические условия, Саратовская область, пространственно-временной анализ, мониторинг, прогнозирование, противопожарная защита.

Введение

Лесные пожары представляют серьезную угрозу для экосистем и экономики регионов. Точная оценка пожарной опасности по условиям погоды является ключевым элементом системы предупреждения и борьбы с лесными пожарами [1, с. 45]. Саратовская область, характеризующаяся разнообразием природно-климатических условий, требует детального анализа пространственно-временной динамики пожарной опасности [2, с. 123].

Традиционные методы оценки, основанные на усредненных данных, не всегда дают точную картину развития пожароопасной ситуации [3, с. 78]. Возможны случаи, когда значительное количество осадков концентрируется в короткие временные периоды, после чего следуют продолжительные засушливые периоды, существенно повышающие риск возникновения пожаров [4, с. 156].

Современные исследования подчеркивают важность учета региональных особенностей при оценке пожарной опасности [5, с. 89]. Различия в рельефе, почвенно-растительных условиях и микроклимате могут приводить к значительной вариативности пожарных рисков даже в пределах одного административного региона [6, с. 234].

Целью данного исследования является анализ динамики класса пожарной опасности по условиям погоды в различных частях Саратовской области в течение пожароопасного периода 2020 года, который отличался наибольшим количеством лесных пожаров за период с 2014 по 2023 годы [7, с. 67].

Материалы и методы

Исследование базируется на данных о суточных показателях погоды и пожарной опасности, предоставленных министерством природных ресур-

сов и экологии Саратовской области. Анализ проводился для пяти территориальных зон области:

— *центральная часть* включает Аткарское, Усовское, Вязовское, Саратовское, Марковское, Энгельское, Лысогорское, Шиханское Карамышское лесничества;

— *северная часть* объединяет Балтайское, Черкасское, Большое Карабулакское, Вольское, Балаковское, Петровское, Новобурасское, Екатериновское лесничества;

— *западная часть* включает Макаровское, Ардакское, Романовское, Балашовское, Калининское лесничества;

— *южная часть* представлена районом Красноармейского и Дьяковского лесничеств;

— *восточная часть* охватывает Пугачевское и Ершовское лесничества.

Период наблюдений охватывал время с 13 апреля по 4 ноября 2020 года. Класс пожарной опасности оценивался по пятибалльной шкале, разработанной В.Г. Нестеровым [8, с. 112], где 1 — отсутствие пожарной опасности, 5 — чрезвычайная пожарная опасность.

Для анализа динамики показателей применялись методы временных рядов и сравнительного анализа. Построение графиков и статистическая обработка данных выполнялись с использованием специализированного программного обеспечения [9, с. 45].

Результаты и обсуждения

Графические материалы, представленные на рис. 1–5, наглядно демонстрируют динамику изменения класса пожарной опасности по условиям погоды в различных частях Саратовской области в течение пожароопасного периода 2020 года.

Центральная часть области. Анализ динамики пожарной опасности в центральной части Са-

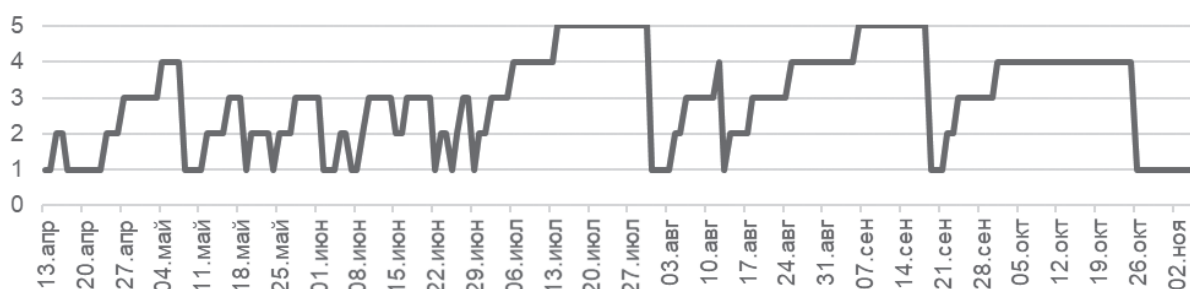


Рис. 1. Изменение класса пожарной опасности по условиям погоды в центральной части области в пожароопасном периоде 2020 года

ратовской области (рис. 1) показал значительную вариабельность показателей в течение пожароопасного сезона. В начале периода (апрель-май) наблюдались умеренные значения класса опасности (2–3 класс) с периодическими подъемами до 4-го класса.

Наиболее критическая ситуация сложилась в июле и затем в сентябре, когда класс пожарной опасности достигал максимальных значений (5-й класс) и удерживался на высоком уровне продолжительное время. Особенно опасными оказались периоды в середине июля и середине сентября, когда высокий класс опасности (4–5) сохранялся более недели подряд.

В сентябре-октябре наблюдалось постепенное снижение пожарной опасности, однако в течение октября продолжительное время держался 4-й класс, что указывает на сохранение потенциальной угрозы даже в заключительной части пожароопасного сезона [10, с. 78].

Северная часть области (рис. 2) характеризовалась более сложной динамикой пожарной опасности с выраженной цикличностью. В отличие от центральной части, здесь наблюдались более

частые колебания между низкими (1–2) и высокими (4–5) классами опасности.

Критические периоды приходились на май (середина месяца), июнь-июль (продолжительные периоды 4-го класса), и особенно на сентябрь-октябрь, когда отмечались наиболее продолжительные периоды максимальной пожарной опасности. Характерной особенностью северной зоны стало наличие резких переходов от низкой к высокой пожарной опасности, что создавало дополнительные сложности для прогнозирования и планирования противопожарных мероприятий [11, с. 134].

Западная часть области. Западная территориальная зона (рис. 3) демонстрировала относительно стабильную динамику с преобладанием средних и высоких классов пожарной опасности. Начало сезона характеризовалось умеренными значениями (2–3 класс), но уже с мая наблюдался устойчивый рост до 4-го класса.

Летний период отличался высокой стабильностью показателей на уровне 4-го класса с редкими кратковременными снижениями. Это указывает на формирование устойчивых метеорологических

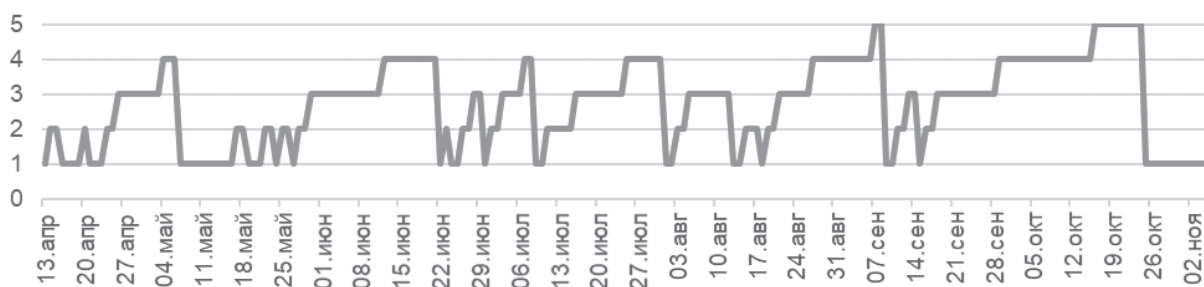


Рис. 2. Изменение класса пожарной опасности по условиям погоды в северной части области в пожароопасном периоде 2020 года

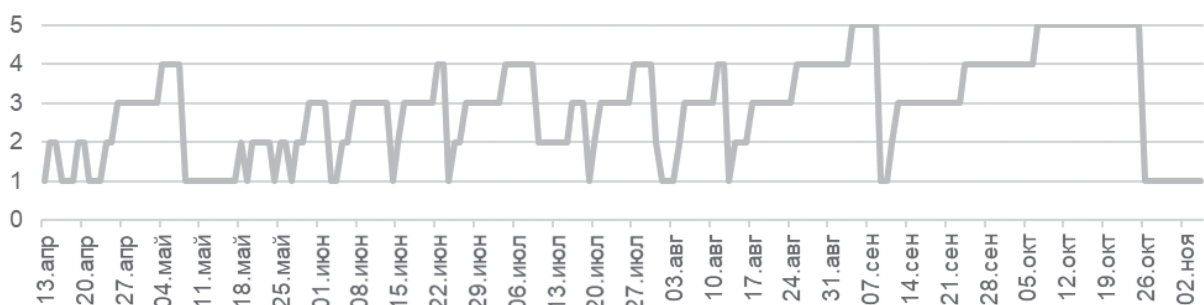


Рис. 3. Изменение класса пожарной опасности по условиям погоды в западной части области в пожароопасном периоде 2020 года

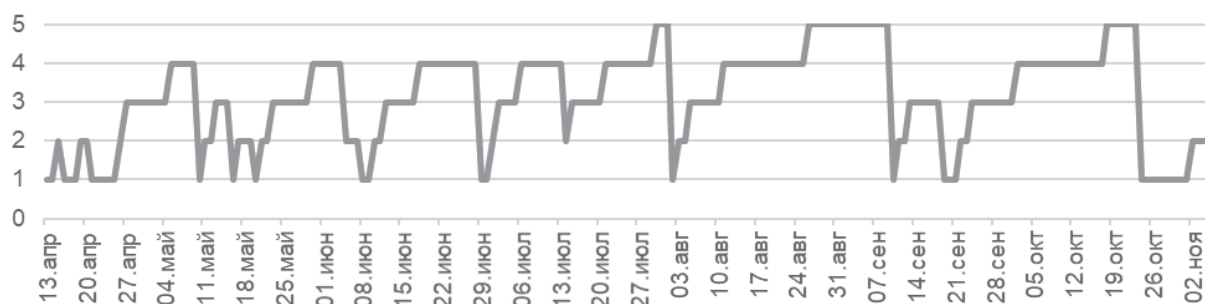


Рис. 4. Изменение класса пожарной опасности по условиям погоды в западной части области в пожароопасном периоде 2020 года

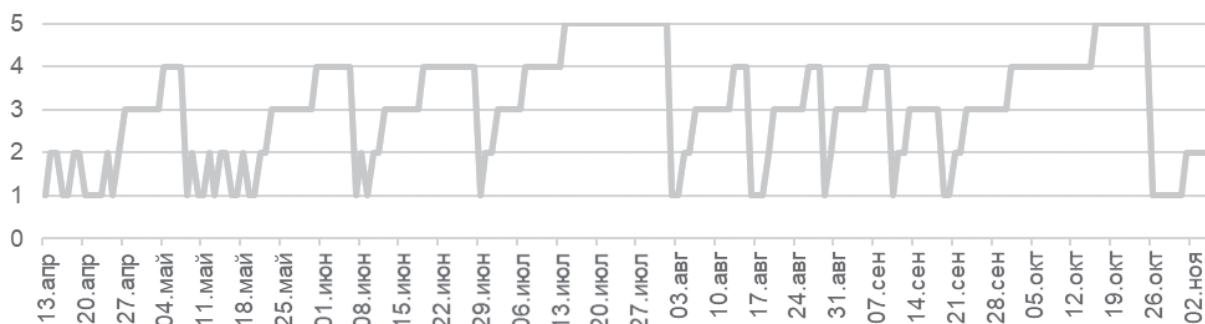


Рис. 5. Изменение класса пожарной опасности по условиям погоды в восточной части области в пожароопасном периоде 2020 года

условий, способствующих поддержанию высокой пожарной опасности. Осенний период характеризовался достижением 5-го класса пожарной опасности в октябре, который продержался до конца месяца [12, с. 89].

Южная часть области. Южная зона (рис. 4) — Красноармейский и Дьяковский районы — показала наиболее экстремальную динамику пожарной опасности. Здесь наблюдались самые продолжительные периоды максимального (5-го) класса опасности, особенно в июле-августе и сентябре-октябре.

Характерной особенностью данной территории стало наличие двух ярко выраженных пиков пожарной опасности: летнего (июль-август) и осеннего (сентябрь-октябрь). Между этими пиками отмечался относительно короткий период снижения до 1-го класса, что может быть связано с локальными метеорологическими явлениями [13, с. 167].

Восточная часть области. Восточная территориальная зона (рис. 5) характеризовалась наиболее контрастной динамикой с четко выраженными периодами высокой и низкой пожарной опасности. Весенний период отличался умеренными значениями, но уже в конце мая — начале июня произошел резкий подъем до максимальных значений.

Летний период характеризовался чередованием критических ситуаций (5 класс) с периодами относительного снижения опасности. Особенно критическими оказались середина июля и конец октября, когда класс пожарной опасности достигал максимальных значений и удерживался на этом уровне продолжительное время [14, с. 98].

Сравнительный анализ территориальных различий

Проведенный анализ графических данных (см. рис. 1—5) выявил существенные различия в динамике пожарной опасности между различными частями Саратовской области. Наиболее стабильно высокие показатели наблюдались в западной части области, что может быть связано с особенностями рельефа и микроклиматических условий [15, с. 203].

Северная и восточная части характеризовались наибольшей изменчивостью показателей, что создает дополнительные сложности для планирования противопожарных мероприятий. Южная часть области показала наиболее экстремальные значения с продолжительными периодами максимальной опасности [16, с. 156].

Центральная часть области занимает промежуточное положение, демонстрируя умеренную вариабельность с четко выраженными сезонными закономерностями. Такие различия обусловлены комплексом факторов, включающих особенности рельефа, почвенно-растительного покрова и локальных климатических условий [17, с. 234].

Практические выводы и рекомендации

Результаты исследования подтверждают необходимость дифференцированного подхода к оценке и прогнозированию пожарной опасности в различных частях Саратовской области. Представленные графические материалы (рис. 1—5) наглядно демонстрируют установленные территориальные особенности динамики пожарной опасности, которые должны учитываться при:

1) планировании размещения противопожарных сил и средств с учетом региональной специфики распределения рисков [18, с. 89];

2) разработке региональных систем мониторинга и прогнозирования с адаптацией к местным условиям [19, с. 145];

3) определении приоритетных направлений профилактических мероприятий на основе анализа временных закономерностей [20, с. 67];

4) корректировке нормативных документов по пожарной безопасности в лесах с учетом территориальной дифференциации рисков [21, с. 178].

Особое внимание следует уделить южной и восточной частям области, где наблюдаются наиболее критические и продолжительные периоды высокой пожарной опасности. Для северной части области необходимо усилить систему оперативного мониторинга в связи с высокой изменчивостью показателей [22, с. 112].

Заключение

Детальный анализ динамики пожарной опасности по условиям погоды в Саратовской области

в 2020 году выявил существенные территориальные и временные различия в развитии пожароопасной обстановки. Полученные результаты демонстрируют ограниченность подходов, основанных на усредненных данных, и подтверждают необходимость использования детального пространственно-временного анализа для эффективного управления пожарными рисками.

Выявленные закономерности могут служить основой для совершенствования существующих систем мониторинга и прогнозирования лесопожарной обстановки, а также для разработки адаптивных стратегий противопожарной защиты лесов в условиях изменяющегося климата. Дифференцированный подход к оценке пожарных рисков позволит оптимизировать распределение ресурсов и повысить эффективность противопожарных мероприятий.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на расширение временного ряда наблюдений и включение дополнительных метеорологических параметров для повышения точности прогнозирования пожарной опасности.

Литература

1. Гришин А. М. Математические модели лесных пожаров и новые способы борьбы с ними. — Новосибирск: Наука, 2019. — 408 с.
2. Доррер Г. А. Математические модели динамики лесных пожаров. — М.: Лесная промышленность, 2018. — 356 с.
3. Иванов В. А., Корольков А. Т. Пожароопасность в лесах и ее оценка // Лесное хозяйство, 2020. № 3. — С. 75–82.
4. Кузнецов Г. В., Барановский Н. В. Прогноз возникновения лесных пожаров и их экологических последствий. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2017. — 301 с.
5. Курбатский Н. П. Исследование распространения и тушения лесных пожаров. — М.: Гослесбумиздат, 2019. — 426 с.
6. Мелехов И. С. Природа леса и лесные пожары. — М.: Лесная промышленность, 2018. — 234 с.
7. Петров А. П. Анализ динамики лесных пожаров в Саратовской области // Вестник лесного хозяйства, 2021. № 2. — С. 65–72.
8. Нестеров В. Г. Горимость леса и методы ее определения. — М.: Гослестехиздат, 2020. — 178 с.
9. Попов И. В. Применение геоинформационных систем в лесопожарном мониторинге // Информационные технологии в лесном хозяйстве, 2019. № 4. — С. 42–48.
10. Софронов М. А., Волокитина А. В. Пирологическое районирование в таежной зоне. — Новосибирск: Наука, 2018. — 286 с.
11. Телицын Г. П. Математическое моделирование лесных пожаров // Математическое моделирование, 2020. Т. 32. № 5. — С. 130–142.
12. Фурьев В. В., Заблоцкий В. И. Закономерности возникновения и развития лесных пожаров. — Красноярск: Институт леса СО РАН, 2019. — 167 с.
13. Щетинский Е. А. Тушение лесных пожаров. — М.: ВНИИЛМ, 2018. — 145 с.
14. Юдицкий С. А. Математическая теория управления пожарами в лесах. — М.: Наука, 2020. — 234 с.
15. Якимов Н. Д. Региональные особенности пожарных режимов лесов // География и природные ресурсы, 2019. № 3. — С. 200–208.

Сведения об авторах:

Козаченко Максим Анатольевич, к.с.-х.н., доцент кафедры гидромелиорации, природообустройства и строительства в АПК, Институт инженерии и робототехники, Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова (СГАУ).

Халин Павел Сергеевич, аспирант, кафедра гидромелиорации, природообустройства и строительства в АПК, Институт инженерии и робототехники СГАУ им. Н. И. Вавилова.

Климатические ресурсы

EDN HITFRG

УДК 551.583

Функции чувствительности климатической системы Земли к выбросам антропогенных парниковых газов (аналитическое решение вековой задачи С. Аррениуса)

В.В. Тетельмин, д.т.н., Институт экологии РУДН им. Патриса Лумумбы

Решена задача, которую в конце XIX века сформулировал шведский химик С. Аррениус по определению чувствительности земной системы к выбросам парниковых газов, включая увеличение в два раза содержания в атмосфере диоксида углерода. На основании анализа термодинамических параметров климатической системы в доиндустриальный и последний ледниковый периоды истории Земли получены функции зависимости радиационно-равновесной температуры глобального потепления от накопленной в атмосфере концентрации антропогенных выбросов парниковых газов. Определена объемная концентрация 850 ppm-eq (млн⁻¹), соответствующая состоянию насыщения атмосферы антропогенными парниковыми газами. Эта концентрация определяет максимально возможную радиационно-равновесную температуру 8,7°C глобального потепления, которая может быть обеспечена на Земле антропогенным парниковым эффектом. Дается определение парникового эффекта как потока тепловой энергии определенной мощности, перехваченного содержащимися в атмосфере парниковыми газами.

Ключевые слова: глобальное потепление, парниковые газы, чувствительность климатической системы, антропогенный парниковый эффект, радиационно-равновесная температура.

В XXI веке климатологи всего мира пришли к заключению, что наблюдаемое глобальное изменение климата — это следствие роста содержания антропогенных парниковых газов (ПГ) в атмосфере. Содержание основных антропогенных ПГ в атмосфере (CO₂, CH₄, N₂O) приводится в единицах объемной концентрации К (млн⁻¹), эквивалентных потенциалу GWP глобального потепления диоксида углерода CO₂ (ppm-eq). За последние полтора века человечество за счет преимущественного использования ископаемого топлива произвело около 8,3·10¹⁵ кВт·ч энергии, в результате чего к 2020 г. в атмосфере накопилось около 182 ppm-eq антропогенных ПГ [1], содержание которых повысилось до значений:

CO₂ — 416 ppm, CH₄ — 1,88 ppm, N₂O — 0,335 ppm (табл. 1). Сильные полосы поглощения фотонов водяным паром (1,35–1,45; 1,8–1,95; 5,5–7,5 мкм), диоксидом углерода (4,5–5,0; 14–18 мкм), метана (7,5–8,0 мкм) и закиси азота (3,0–5,0; 7,5–9,0 мкм) обеспечивают непрозрачность атмосферы на этих длинах волн. Попавшие в атмосферу молекулы антропогенных ПГ начинают работать на потепление климата в соответствии с законами молекулярной физики, поглощая отраженное земной поверхностью излучение в дальнем инфракрасном диапазоне электромагнитных волн (3,0–70 мкм).

При климатическом прогнозировании важно знать предельное значение максимальной радиа-

Таблица 1

Показатели роста выбросов и накопленной в атмосфере объемной концентрации антропогенных парниковых газов

Годы	CO ₂ , ppm	CH ₄ , ppm-eq	N ₂ O, ppm-eq	Суммарное значение, ppm-eq
1990–2000	14,28	1,75	1,86	17,89
2000–2010	20,0	0,7	2,07	22,77
2010–2020	24,75	1,96	2,6	29,54
1850–2020	132	33	17	182

ционно-равновесной температуры T_{MAX} , к которой стремится глобальное потепление при фиксированном содержании антропогенных парниковых газов K в атмосфере. Основу для развития количественной модели по определению влияния парниковых газов на глобальное изменение климата заложил Нобелевский лауреат шведский химик Сванте Аррениус [2]. В конце XIX в. Аррениус подсчитал, что повышение содержания CO_2 в атмосфере в два раза должно привести за счет увеличения радиационного эффекта к росту средней глобальной температуры на $5\text{--}6^\circ\text{C}$. Другой нобелевский лауреат Сукуро Манабе с учетом общей циркуляции атмосферы дал другой ответ на эту задачу — по его мнению удвоение концентрации CO_2 приведет к глобальному потеплению в приповерхностном слое атмосферы примерно на 2°C [3]. Согласно современным оценкам, полученным с помощью сложных климатических моделей, удвоение содержания CO_2 в атмосфере увеличит глобальную температуру приземного слоя атмосферы на $2\text{--}4,5^\circ\text{C}$ [4–5].

Подобный разброс оценок влияния антропогенных выбросов ПГ на климатическое будущее цивилизации не может удовлетворить научную общественность. По этой причине в «Федеральной научно-технической программе в области экологического развития РФ и климатических изменений на 2021–2030 гг.» (ФНТП) поставлена фундаментальная задача исследований: уточнение оценок чувствительности климатической системы (КС) Земли к антропогенным воздействиям для определения экономически оправданных возможностей их сокращения.

Основными источниками информации о происходящих в КС Земли процессах являются Оценочные доклады Межправительственной группы экспертов ООН (МГЭИК) по изменению климата [5, 6]. В названных источниках разброс оценок при определении концентрации ПГ в атмосфере не превышает $\pm 3\%$, погрешность в определении глобального тренда температуры составляет $\pm 20\%$, а разброс оценок накопленной КС Земли парниковой тепловой энергии в пределах $\pm 30\%$.

В табл. 2 приводятся систематизированные показатели происходивших до 2020 г. изменений в КС Земли. Эти натурные данные являются результатом действия всех энергетических потоков на Земле, включая действие положительных и отрицательных климатических обратных связей. К 2020 г. текущее значение средней глобальной температуры приземного слоя атмосферы увеличилась примерно на $1,2^\circ\text{C}$. Такого быстрого темпа роста средней земной температуры не наблюдалось никогда.

Сила воздействия единицы содержания парниковых газов на глобальное потепление зависит от их концентрации K (ppm-eq) в атмосфере. По мере насыщения атмосферы парниковыми газами радиационная эффективность единицы их содержания в атмосфере снижается [4, 7, 8]. Например, поступившая в атмосферу дополнительная масса диоксида углерода будет поглощать только ту часть длинноволнового излучения земной поверхности, которая не была поглощена уже присутствующим в атмосфере этим газом. Добавление новых порций CO_2 оказывает меньшее воздействие на потепление, потому что им приходится конкурировать с ранее поступившим в атмосферу газом за излучение в диапазонах длин волн $4\text{--}4,4$ мкм и $14\text{--}19$ мкм. По этой причине удвоение содержания CO_2 в атмосфере не увеличит вдвое поглощение ИК-излучения.

Атмосфера со своей теплоемкостью и парниковыми газами препятствует идеальному радиационному теплообмену в системе «Космос-Земля-Космос». Совокупный спектр поглощения содержащихся в атмосфере антропогенных ПГ формирует в дальнем ИК-диапазоне электромагнитных волн соответствующую единичную мощность (интенсивность) потенциала радиационного усиления J_R Вт/м² [9]. Каждому значению концентрации K (ppm-eq) содержащихся в атмосфере ПГ соответствует свое значение потенциала радиационного усиления J_R и определенное значение максимальной радиационно-равновесной температуры глобального потепления T_{MAX} приземного слоя атмосферы. Функциональная зависимость между этими двумя физическими величинами

Таблица 2

Примерные показатели происходивших до 2020 г. изменений в климатической системе Земли, вызванных антропогенными выбросами парниковых газов

Год	Содержание парниковых газов, K ppm-eq	Интенсивность поглощения тепла КС Земли, $Q_p \times 10^{15}$ кВт·ч / 10 лет	Накопленная энергия в КС Земли, $Q_{\text{КС}} \times 10^{15}$ кВт·ч	Рост средней глобальной температуры, $^\circ\text{C}$
1910	24,0	10,0	15,0	0,12
1930	34,3	11,5	37,0	0,18
1950	44,6	12,5	61,5	0,24
1970	70,0	13,8	88,0	0,30
1980	90,0	16,6	101,8	0,48
1990	112	22,6	121,1	0,66
2000	132	28,2	145,7	0,84
2010	155	34,5	176,7	1,02
2020	182	42,0	215,0	1,20

определяется уравнением Стефана-Больцмана [10]:

$$(150 + J_p) + S(1 - a)/4 = \epsilon \cdot (288 + T_{\text{MAX}})^4 \text{ Вт/м}^2, \quad (1)$$

где: $\epsilon = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}^4$ — постоянная Стефана; $S = 1368 \text{ Вт/м}^2$ — современное значение Солнечной постоянной; $a = 0,3$ — среднее значение глобального альбеда; 150 Вт/м^2 — потенциал радиационного усиления, сформированный всеми ПГ в доиндустриальную эпоху; 288 К — средняя температура приповерхностного слоя атмосферы по шкале Кельвина в доиндустриальную эпоху.

В понимании С. Аррениуса чувствительность КС Земли к воздействию антропогенных ПГ характеризуется значением максимальной радиационно-равновесной температуры T_{MAX} глобального потепления, соответствующей тому или иному значению концентрации K (ppm-eq) ПГ в атмосфере. Для определения температуры T_{MAX} строятся математические модели, которые учитывают соотношение между физическими, химическими и биологическими процессами, происходящими в климатической системе Земли, включающими динамические процессы атмосферной и океанической циркуляции. Полученные решения дают большой разброс результатов. Например, из опубликованных в докладе МГЭИК ОД-4 результатов расчетов семи климатических сценариев следует, что при концентрации антропогенных ПГ в атмосфере на уровне 550 ppm-eq оценка соответствующей глобальной температуры T_{MAX} составляет от 2 до 4,5°C, а при $K = 800 \text{ ppm-eq}$ — от 3 до 7°C [4].

Поставленную С. Аррениусом задачу о «температурной чувствительности» земной системы можно решить, используя полученные в последние десятилетия данные о параметрах климатической системы Земли в последний ледниковый период [11]. Изменение средней глобальной температуры на Земле, происходит в первую очередь за счет изменения солнечной постоянной S , которая в настоящее время равна 1368 Вт/м^2 . Из трех известных циклов Миланковича [10] периодически происходящие на Земле ледниковые периоды обеспечиваются только одним циклом — изменением эксцентриситета $\epsilon = c/a$ эллиптической орбиты Земли, где: c — половина фокусного расстояния, a — большая полуось эллиптической орбиты.

Началу последнего ледникового периода послужила существенная корректировка орбиты

Земли гравитационным воздействием планет Солнечной системы, увеличившая примерно 130 тыс. лет назад эксцентриситет орбиты от значения 0,017 до значения 0,042. Изменение эксцентриситета орбиты Земли снизило интенсивность лучистой энергии на внешней границе земной атмосферы, в результате летний приход Солнечной радиации на широте 65° северной широты уменьшился на 40 Вт/м^2 по сравнению с современным периодом, что на 100 тыс. лет ввергло планету в ледниковый период. В этот длительный период температура изменялась в диапазоне 5,8–16,4 °C, концентрация CO_2 в диапазоне 190–290 ppm, CH_4 в диапазоне 0,35–0,70 ppm, N_2O в диапазоне 0,20–0,27 ppm. При этом независимо от того, что было первичным — изменение температуры, вслед за которым изменялась концентрация ПГ в атмосфере, или наоборот, осредненные значения названных величин изменялись согласованно.

После возвращения эксцентриситета орбиты и Солнечной постоянной к современным значениям, соответственно, 0,017 и 1368 Вт/м^2 планета Земля в период своей истории от 20 до 8 тыс. лет назад медленно выходила из ледникового периода к современному межледниковому состоянию. Можно принять, что по причине малой скорости этого процесса КС Земли на протяжении всей фазы выхода из состояния ледникового периода, длившейся около 12 тыс. лет, проходила через ряд квазистационарных термодинамических состояний. В таком случае на каждый момент времени соотношение средней глобальной температуры T_{MAX} и средней концентрации K парниковых газов в атмосфере примерно отвечало состоянию радиационного баланса КС Земли. Подобный подход к анализу финальной части палеопериода позволяет получить значения предельных отношений $P_K = T_{\text{MAX}}/K$ (град./ppm-eq) для трех отмеченных точек на графике рис. 1 (см. Вклейку).

Функции зависимости предельного значения «нагревательного» потенциала единицы объемной концентрации $P_K = T_{\text{MAX}}/K$ от содержащихся в атмосфере ПГ можно получить, используя свойство тесной корреляции между концентрацией ПГ в палеоатмосфере Земли и соответствующей глобальной радиационно-равновесной температурой в последней фазе ледникового периода (см. рис. 1). В табл. 3 приводятся фактические значения концентрации K парниковых газов в палеоатмосфере

Таблица 3

Натурные данные радиационно-равновесной температуры атмосферы T_{MAX} для трех квазистационарных состояний климатической системы Земли в последней фазе (20–8 тыс. лет назад) ледникового периода при трех значениях концентрации основных (CO_2 , CH_4 , N_2O) парниковых газов в атмосфере

Период, тыс. лет назад	Концентрация CO_2 , К ppm	Концентрация трех ПГ, К ppm-eq	Нагрев атмосферы всеми ПГ, град	Доля нагрева тремя ПГ, град	Доля нагрева одним CO_2 , град
20–18	193	261	24,8	7,0	5,35
14–12	262	346	32,0	8,8	6,90
8–0	280	370	33,4	9,4	7,20

и соответствующие значения температуры T_{MAX} для трех моментов времени, рассчитанные на основе данных графиков рис. 1.

Примерное постоянство содержания ПГ в атмосфере на протяжении последних восьми тысяч лет современного межледникового периода обеспечивало квазистационарное состояние климатической системы Земли. Эта особенность позволяет получить первую искомую точку графика функции $P_K = f(K)$ град./ppm-eq. В доиндустриальный период средняя концентрация каждого из трех основных ПГ в атмосфере составляла $CO_2 - 280$ ppm, $CH_4 - 0,7$ ppm, $N_2O - 0,27$ ppm. В переводе на единицы, эквивалентные потенциалу глобального потепления диоксида углерода GWP, общая доиндустриальная объемная концентрация этих ПГ составляла 370 ppm-eq. Известно, что в доиндустриальном периоде доля основных ПГ (CO_2 , CH_4 и N_2O) в общем увеличении глобальной температуры на Земле составляла 9,4 °C из 33,4 °C [12]. Отсюда находим свойственный для этого периода потенциал нагревания содержащихся в атмосфере ПГ в единицах объемной концентрации $P_K = T_{MAX}/K = 9,4 \text{ °C}/370 \text{ ppm-eq} = 25,4 \cdot 10^{-3} \text{ град./ppm-eq}$.

На рис. 2 (см. вклейку) приводятся графики зависимости «нагревательного потенциала» единицы объема отдельно диоксида углерода и смеси трех парниковых газов $P_K = T_{MAX}/K$ в зависимости от их общего содержания в атмосфере. Графики имеют вид падающих прямых линий. Для смеси трех ПГ график 1 описывается следующей линейной функцией:

$$T_{MAX}/K = 29,8 \cdot 10^{-3} - 12,3 \cdot 10^{-6} \cdot K \text{ (град./ppm-eq)}, \quad (2)$$

где: K (ppm-eq) — **общая** концентрация трех ПГ в атмосфере.

Из выражения (2) получается функция зависимости радиационно-равновесной температуры глобального потепления (чувствительности земной системы) от **общей** концентрации K содержащихся в атмосфере трех основных (CO_2 , CH_4 и N_2O) парниковых газов:

$$T_{MAX} = (29,8 \cdot 10^{-3} \cdot K - 12,3 \cdot 10^{-6} \cdot K^2 - 9,4) \text{ °C}, \quad (3)$$

где: T_{MAX} °C — температура глобального потепления приземного слоя атмосферы (чувствительность) от действия антропогенного парникового эффекта; K ppm-eq — **общая** объемная концентрация содержащихся в атмосфере трех основных парниковых газов, изменяющаяся в пределах ($370 \leq K \leq 1220$) ppm-eq.

Радиационно-равновесная температура T_{MAX} , к которой через продолжительное время приходит содержащая парниковые газы земная атмосфера, определяется нелинейным уравнением параболического типа. Исследуя функцию (3) на экстремум, получаем максимальное значение $K = 1210$ ppm-eq **общей** концентрации трех основных ПГ, при кото-

рой наступит «парниковое насыщение» атмосферы. Этому значению **общей** концентрации соответствует температура максимально возможного антропогенного потепления $T_{MAX} = 8,7 \text{ °C}$ от действия антропогенного парникового эффекта в современных условиях межледникового периода.

Зависимость между **общей** концентрацией K трех основных парниковых газов в атмосфере и концентрацией K_A **антропогенных** выбросов этих газов следующая: $K = (K_A + 370) \text{ ppm-eq}$. Подставляя это выражение в (3), получаем функцию зависимости радиационно-равновесной температуры глобального потепления T_{MAX} (чувствительности земной системы) от концентрации содержащихся в атмосфере выбросов **антропогенных** парниковых газов [1]:

$$T_{MAX} = 20,9 \cdot 10^{-3} \cdot K - 12,3 \cdot 10^{-6} \cdot K^2 \text{ (°C)}, \quad (4)$$

где K ppm-eq — объемная концентрация содержащихся в атмосфере **антропогенных** выбросов парниковых газов, изменяющаяся в пределах ($0 \leq K \leq 850$) ppm-eq; коэффициент первого слагаемого имеет размерность $20,9 \cdot 10^{-3}$ (град./ppm-eq); коэффициент второго слагаемого имеет размерность $12,3 \cdot 10^{-6}$ град./ppm-eq².

Функции (3) и (4) определяют радиационно-равновесную температуру T_{MAX} °C глобального потепления по шкале Цельсия, формируемую парниковым эффектом. Отсчет температуры в этих функциях ведется от значения температуры 288K (+15°C), соответствующей средней глобальной температуре в доиндустриальный период.

Исследуя функцию (4) на экстремум, получаем максимальное значение концентрации содержащихся в атмосфере **антропогенных** парниковых газов $K = 850$ ppm-eq, при которой наступает «парниковое насыщение» атмосферы. Этому значению концентрации соответствует максимальная радиационно-равновесная температура глобального потепления $T_{MAX} = 8,7 \text{ °C}$, которая может обеспечена **антропогенными** выбросами в атмосферу парниковых газов. С использованием функций (3) и (4) находим, что в 2020 г. при содержании в атмосфере антропогенных ПГ в количестве 182 ppm-eq (см. табл. 1) их «нагревательный потенциал» был использован на 71%.

Полученные функции определяют зависимость радиационно-равновесной температуры глобального потепления T_{MAX} °C от **общей** концентрации (3) содержащихся в атмосфере трех парниковых газов и от концентрации **антропогенных** выбросов (4) парниковых газов. Эти же функции определяют «чувствительность» реакции климатической системы Земли на выбросы антропогенных парниковых газов, как её понимал С. Аррениус [2].

На рис. 3 (см. вклейку) приводится единый график функций (3) и (4) в двух системах отсчета: в системе отсчета **общей** концентрации трех ПГ в атмосфере и в системе **антропогенной** концентрации этих газов. Точка начала антропогенной

системы отсчета имеет координаты 370 ppm-eq и 9,4°C, соответствующие состоянию КС Земли в начале индустриального периода. О справедливости предлагаемых функций свидетельствует принципиальное совпадение их графика с графиком Д. Сильвера [4], который свел воедино результаты математического моделирования семи климатических сценариев, приведенных в докладе МГЭИК ОД-4. График функций (3) и (4) укладывается в диапазон оценок чувствительности реакции КС Земли на изменение концентрации ПГ в атмосфере, полученный математическим моделированием семи климатических сценариев (рис. 3).

В справедливости полученных функций можно также убедиться, обратившись к уравнению Стефана-Больцмана (1). Земля отражает получаемую солнечную радиацию в виде длинноволнового теплового излучения мощностью 240 Вт/м², из которых около 40 Вт/м² свободно проходят через «окно прозрачности» атмосферы в пределах длин волн от 7,5 до 13 мкм [11]. Из оставшейся мощности излучения 200 Вт/м² около 150 Вт/м² было перехвачено содержащимися в атмосфере всеми ПГ еще в доиндустриальный период. Таким образом, в современных условиях на долю антропогенных ПГ остается ресурс около 50 Вт/м² по перехвату мощности отражаемой земной поверхностью радиации. Подстановка этого значения «свободной» мощности в уравнение Стефана-Больцмана (1) дает максимальную температуру глобального потепления около $T_{\text{MAX}} = 8,7^\circ\text{C}$, которую могут обеспечить антропогенные ПГ. Этот результат совпадает с экстремумом функций (3) и (4), что также подтверждает их справедливость.

Наконец, в достоверности полученных функций можно убедиться, используя данные радиационного баланса Земли в 2009 г., приведенные в работе К. Тренберта [13], в которой приводится количественная характеристика потенциала радиационного усиления $J_R = 17$ Вт/м², присутствовавшего в атмосфере в виде «явного тепла». Из табл. 2 находим, что в 2009 г. концентрация антропогенных ПГ в атмосфере составляла 152 ppm-eq. Из функции (4) находим соответствующую этой концентрации радиационно-равновесную температуру $T_{\text{MAX}} = 2,86^\circ\text{C}$. Подстановкой этой температуры в уравнение Стефана-Больцмана (1) получаем значение «явного тепла» $J_R = 17$ Вт/м², совпадающего с приведенным К. Тренбертом значением в числе составляющих радиационного баланса Земли в 2009 г. Этот расчет является третьим подтверждением справедливости «функций чувствительности» (3) и (4) к антропогенным выбросам парниковых газов.

Из функции (4) следует практически важный вывод: чтобы ограничить рост средней глобальной температуры значением +2°C, которую назначает Парижское соглашение, человечество должно было полностью прекратить выбросы ПГ в 1990 г.,

когда их концентрация в атмосфере составляла около 100 ppm-eq [14]. Этот результат подтверждает справедливость формулировки п. 17 Климатической доктрины РФ, в котором также отмечается, что «удержать рост глобальной температуры ниже +2°C по сравнению с 1900 г. не удастся». Действительно, в настоящее время при намного большем содержании в атмосфере антропогенных ПГ (около 190 ppm-eq) ставить перед человечеством такую цель бессмысленно и антинаучно.

Из графика 2 рис. 2 аналогичным образом выводится функция вклада **антропогенных** выбросов диоксида углерода CO₂ в обеспечение радиационно-равновесной температуры глобального потепления [1]:

$$T_{\text{MAX}} = 19,2 \cdot 10^{-3} \cdot K - 23,1 \cdot 10^{-6} \cdot K^2 \text{ (}^\circ\text{C)}, \quad (5)$$

где $0 \leq K \leq 416$ ppm-eq — объемная концентрация **антропогенных** выбросов CO₂ в составе трех ПГ в атмосфере.

Из выражения (5) получаем максимально возможный вклад в глобальное потепление выбросов **антропогенного** диоксида углерода: $T_{\text{MAX}} = 4^\circ\text{C}$ при $K = 416$ ppm-eq. На рис. 4 (см. вклейку) приводятся графики квадратичных функций (4) и (5), которые определяют чувствительность климата в том смысле, в котором её понимал С. Аррениус [12]. Например, в 2020 г. в атмосфере содержалось 182 ppm-eq антропогенных парниковых газов, из которых на долю диоксида углерода CO₂ приходилось 135 ppm. Из «уравнений чувствительности» климатической системы Земли (4) и (5) и графиков рис. 4 следует, что присутствовавшая в 2020 г. в атмосфере смесь трех парниковых газов обеспечила бы в будущем глобальное потепление КС Земли до радиационно-равновесной температуры $T_{\text{MAX}} = 3,4^\circ\text{C}$, из которой на долю вклада диоксида углерода CO₂ приходилось бы 2,2°C. В 2020 г. общий «нагревательный потенциал» этого парникового газа с учетом его доиндустриального содержания в атмосфере был использован на 84%. Оставшийся нереализованный нагревательный потенциал диоксида углерода около 1,8°C будет полностью реализован тогда, когда в атмосферу будет дополнительно выброшено около 280 ppm этого парникового газа.

Из функции (5) находится решение задачи С. Аррениуса: при увеличении концентрации диоксида углерода CO₂ в атмосфере относительно естественного доиндустриального уровня на 280 ppm-eq (то есть в два раза) радиационно-равновесная температура глобального потепления приземного слоя атмосферы увеличится примерно на 3,6°C. Это решение является средним между решениями Аррениуса 5–6°C [2] и Манабе 2°C [3], а также укладывается в диапазон оценок в докладе МГЭИК ОД-4, систематизированных в [4].

Полученные функции подтверждают известную закономерность, что по мере насыщения атмосферы парниковыми газами радиационная эф-

фективность единицы их содержания в атмосфере снижается [7]. Например, из (4) следует, что при концентрации $K = 200$ ppm-eq выброс в атмосферу 1 ppm-eq увеличивает радиационно-равновесную температуру T_{MAX} на $0,016^\circ\text{C}$. Это означает, что при $K = 200$ ppm-eq радиационная эффективность парниковых газов (чувствительность КС Земли к выбросам ПГ), представляющая собой производную dT_{MAX}/dK , равна $0,016^\circ\text{C}/\text{ppm-eq}$. Соответственно, из (4) получаем: при увеличении концентрации до значения $K = 400$ ppm-eq радиационная эффективность (чувствительность КС Земли) снижается до $dT_{\text{MAX}}/dK = 0,011^\circ\text{C}/\text{ppm-eq}$; при $K = 600$ ppm-eq радиационная эффективность (чувствительность КС Земли) снижается до $0,006^\circ\text{C}/\text{ppm-eq}$. При концентрации близкой к состоянию насыщения атмосферы парниковыми газами $K = 800$ ppm-eq радиационная эффективность новых порций выбросов (чувствительность КС Земли) закономерно приближается к нулевому значению $dT_{\text{MAX}}/dK = 0,001^\circ\text{C}/\text{ppm-eq}$.

Полученные параболические функции представляют собой аналитические решения задачи С. Аррениуса о чувствительности реакции климатической системы Земли на выбросы в атмосферу антропогенных парниковых газов, которую он сформулировал в конце XIX в. Предлагаемые функции зависимости радиационно-равновесной температуры глобального потепления от антропогенных выбросов ПГ исключают неопределенность оценок чувствительности КС Земли, и делает более достоверными прогнозные расчеты параметров климатического будущего цивилизации. Задачу С. Аррениуса по снижению неопределенности оценок чувствительности КС Земли на выбросы антропогенных ПГ, обозначенную в действующей до 2030 г. ФНТП в области экологического развития РФ и климатических изменений как одно из фундаментальных направлений исследований, можно считать решенной.

«Функцию чувствительности КС Земли» (4) можно использовать совместно с уравнением Стефана-Больцмана (1) для нахождения потенциала радиационного усиления J_R , который является энергетическим эквивалентом антропогенного парникового эффекта [8]. На рис. 5 (см. вклейку) приводятся графики зависимости максимальной температуры глобального потепления T_{MAX} и потенциала радиационного усиления J_R от концентрации K антропогенных ПГ в атмосфере, построенные с помощью функции (4) и функции (1). Присутствующий в атмосфере в виде явного тепла потенциал радиационного усиления J_R ($\text{Вт}/\text{м}^2$), является основным фактором, определяющим и характеризующим энергетику антропогенного парникового эффекта (рис. 5а). Потенциал радиационного усиления J_R присутствует в атмосфере в виде явного тепла, которое постепенно нагревает все составляющие КС Земли и увеличивает среднюю глобаль-

ную приземную температуру до значения T_{MAX} , соответствующего радиационно-равновесному состоянию Земли.

В связи со сказанным парниковому эффекту можно дать следующее «энергетическое» определение. *Парниковый эффект — это поток перехваченной парниковыми газами и остающейся в атмосфере в виде явного тепла части J_R ($\text{Вт}/\text{м}^2$) мощности теплового излучения Земли.* В соответствии с данным определением парниковый эффект как физическое явление имеет энергетическое наполнение и соответствующую размерность единичной мощности (интенсивности). Величина парникового эффекта — это потенциал мощности радиационного усиления J_R ($\text{Вт}/\text{м}^2$, значение которого при известной концентрации антропогенных ПГ в атмосфере определяется с помощью уравнения Стефана-Больцмана (1) и функции «температурной чувствительности» (6).

Точка 1 рис. 5 соответствует потенциалу радиационного усиления (единичной мощности парникового эффекта) $J_R = 19,5 \text{ Вт}/\text{м}^2$ и температуре $T_{\text{MAX}} = 3,4^\circ\text{C}$, которые соответствуют значению концентрации антропогенных ПГ в атмосфере в 2020 г. Точка 2 определяет соответствующие параметры $J_R = 32,5 \text{ Вт}/\text{м}^2$ и $T_{\text{MAX}} = 5,8^\circ\text{C}$ при концентрации антропогенных ПГ в атмосфере $K = 350$ ppm-eq, которая установится в 2100 г. при умеренном сценарии декарбонизации с темпом снижения выбросов ПГ $\Delta K = 2$ ppm-eq/10 лет [9]. Точка 3 соответствует максимально возможному проявлению антропогенного парникового эффекта на Земле в состоянии насыщения атмосферы антропогенными ПГ при концентрации $K = 850$ ppm-eq и температуре $T_{\text{MAX}} = 8,7^\circ\text{C}$.

На рис. 6 (см. вклейку) приводятся графики синхронного роста концентрации 1 антропогенных ПГ в атмосфере до 2100 г. и соответствующего роста радиационно-равновесной температуры 2 для умеренного сценария декарбонизации мировой энергетики. При достижении в 2100 г. углеродной нейтральности при $K = 350$ ppm-eq процесс глобального потепления будет продолжаться не менее 200 лет. В течение этого времени текущее значение средней глобальной температуры будет увеличиваться и достигнет максимального радиационно-равновесного значения $T_{\text{MAX}} = 5,8^\circ\text{C}$ примерно в 2320 г.

В табл. 4 приводятся расчетные данные о средней чувствительности энергетических параметров парникового эффекта к изменению концентрации антропогенных ПГ в атмосфере в пределах изменения концентрации антропогенных ПГ от современного значения 200 ppm-eq до 350 ppm-eq в 2100 г. при умеренном сценарии декарбонизации энергетики [8].

Например, в рассматриваемом диапазоне концентраций среднее значение «температурной чувствительности» КС Земли к выбросам антропо-

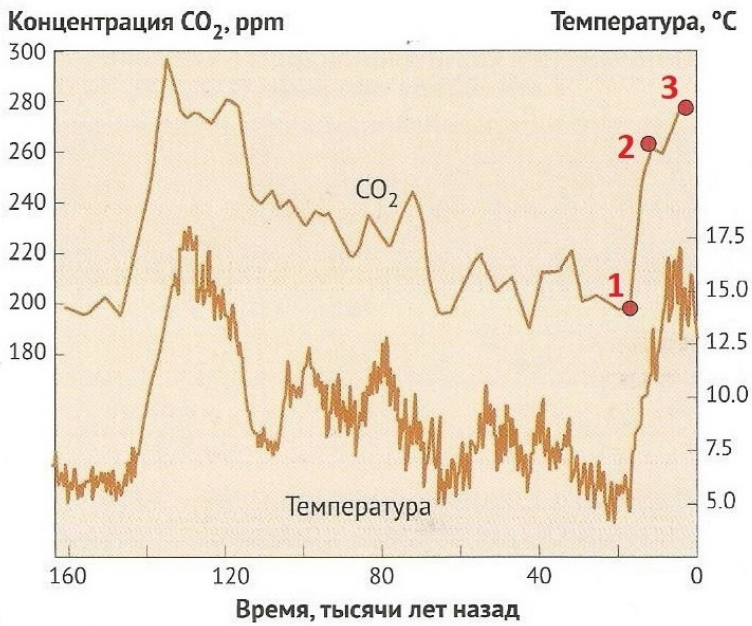


Рис. 1. Ход изменения глобальной температуры и концентрации диоксида углерода в атмосфере за последние 160 тыс. лет и три расчетные точки [11]

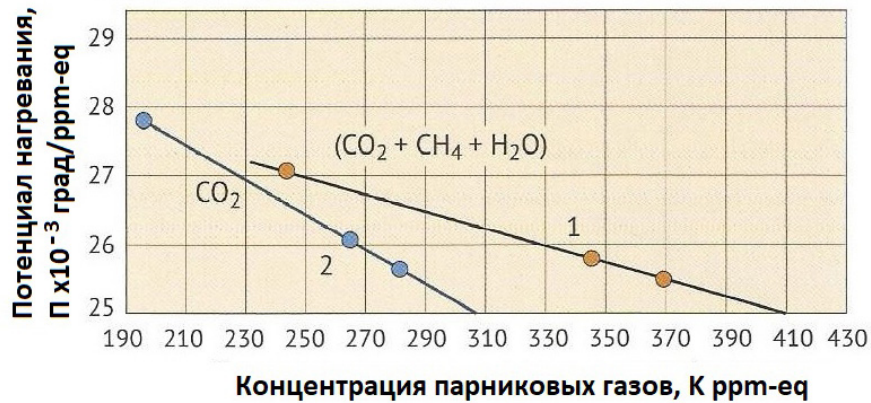


Рис. 2. Зависимость потенциала нагрева парниковых газов от их общего объемного содержания в атмосфере: 1 – для смеси трех парниковых газов; 2 – для диоксида углерода в составе смеси трех парниковых газов

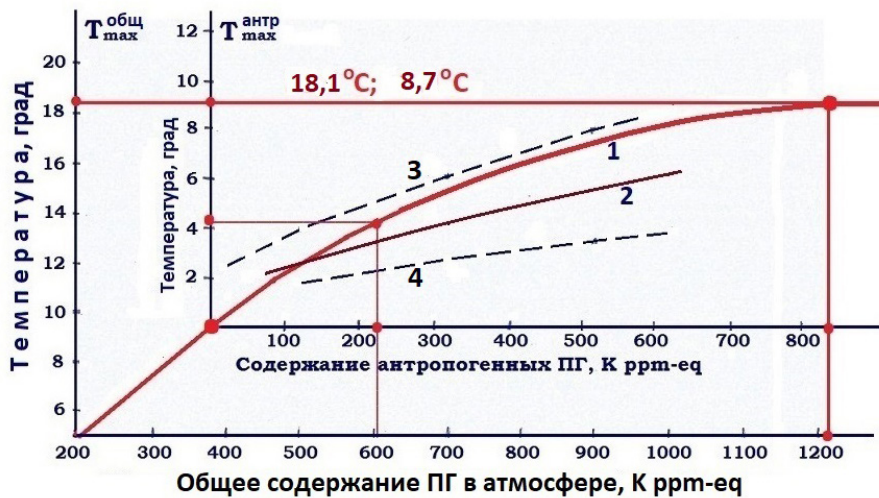


Рис. 3. Совмещенный график 1 функций зависимости максимального глобального потепления (3) и (4) от содержания в атмосфере парниковых газов: 2 – точка парникового насыщения атмосферы; 3 и 4 – полученные моделированием верхний и нижний пределы оценки T_{MAX}

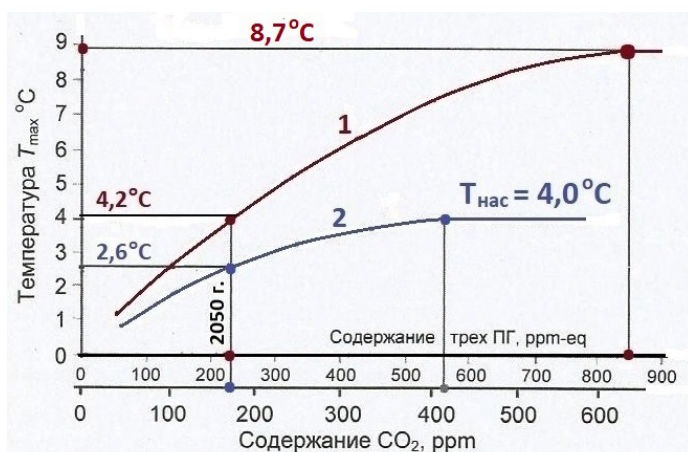


Рис. 4. Графики зависимости максимальной температуры приземного слоя атмосферы от объемной концентрации антропогенных выбросов парниковых газов: 1 – для смеси трех основных парниковых газов; 2 – для диоксида углерода в составе смеси трех парниковых газов

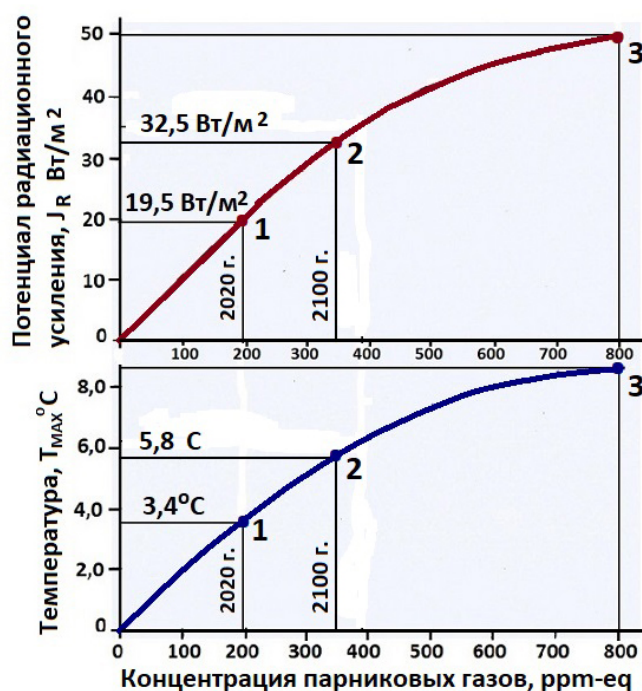


Рис. 5. Графики зависимости потенциала радиационного усиления J_R (а) и максимальной температуры глобального потепления T_{MAX} (б) от концентрации антропогенных ПГ в атмосфере

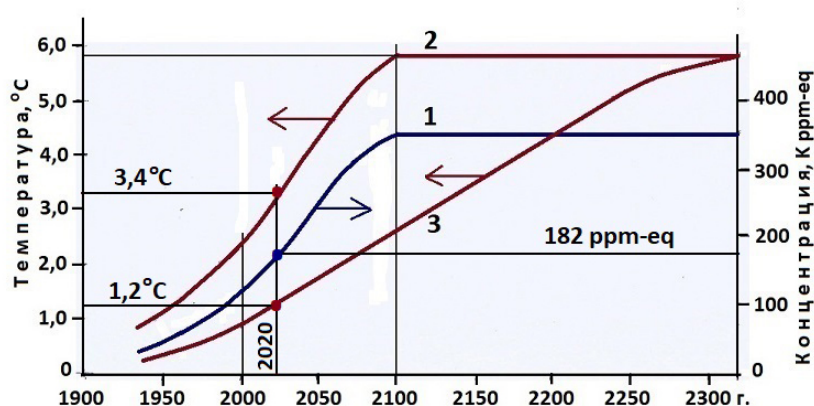


Рис. 6. Расчетные графики изменения параметров КС Земли при умеренном сценарии декарбонизации: 1 – рост концентрации антропогенных ПГ в атмосфере; 2 – соответствующий рост радиационно-равновесной температуры глобального потепления; 3 – рост средней глобальной температуры приземного слоя атмосферы до достижения климатической системой Земли радиационно-равновесного состояния [9]

Чувствительность энергетических параметров парникового эффекта к изменению концентрации антропогенных парниковых газов в XXI веке при умеренном сценарии декарбонизации энергетики [8]

Энергетический параметр парникового эффекта	Ср. значение параметра в период 2020–2030 гг. ($K = 200$ ppm-eq)	Чувствительность параметра, Δ /ppm-eq
Потенциал радиационного усиления (явное тепло), J_R	20,8 Вт/м ²	+0,08 (Вт/м ² ·ppm-eq)
Температура максимального глобального потепления, T_{MAX}	3,7°C	+0,015 (°C/ppm-eq)
Интенсивность накопления тепловой энергии всей земной поверхностью, ΔQ	47,2·10 ¹⁵ кВт·ч/10 лет	+0,276·10 ¹⁵ (кВт·ч/10 лет·ppm-eq)
Нетто-поглощение тепловой энергии Земли, I_0	1,05 Вт/м ²	+0,006 (Вт/м ² ·ppm-eq)
Эквивалент уменьшения расстояния от Земли до Солнца за счет усиления парникового эффекта	2,1 млн км	11·10 ³ (км/ppm-eq)

генных ПГ равно $dT_{MAX}/dK = 0,015$ град/ppm-eq. Увеличение мощности парникового эффекта от роста выбросов антропогенных ПГ можно представить в виде эквивалента уменьшения расстояния от Земли до Солнца. Эмиссия в атмосферу одной порции антропогенных ПГ в количестве 1 ppm-eq увеличивает среднее значение потенциала радиационного усиления в XXI веке примерно на 0,08 Вт/м², что по кумулятивному тепловому воздействию на планету эквивалентно приближению Земли к Солнцу на 11 тыс. км. Человек, выбрасывая в атмосферу миллиарды тонн ПГ и трансформируя энергетические потоки в КС Земли, совершает действия поистине космического масштаба.

Выводы

Получено аналитическое решение задачи, сформулированной в конце XIX века нобелевским лауреатом Сванте Аррениусом, о количественной оценке чувствительности земной системы к антропогенным выбросам парниковых газов. Для термодинамических условий современного межледникового периода, в которых находится Земля, предложены не имеющие аналогов функции зависимости чувствительности радиационно-равновесной температуры T_{MAX} глобального потепления от концентрации K антропогенных парниковых газов в атмосфере.

Формируемый парниковыми газами парниковый эффект характеризуется единичной мощностью (интенсивностью) J_R (Вт/м²) перехваченного парниковыми газами потока теплового излучения Земли, который присутствует в атмосфере в виде явного тепла и увеличивает глобальную приземную температуру до значения T_{MAX} , соответствующего радиационно-равновесному состоянию системы «Земля—Космос».

Полученное эмпирическое решение «температурной чувствительности» (4) свидетельствует о том, что при накопленной в атмосфере концентрации антропогенных парниковых газов $K = 850$ ppm-eq наступит состояние «парникового насыщения» атмосферы, при котором радиационно-равновесная

температура глобального потепления достигнет своего максимально возможного значения $T_{MAX} = 8,7^\circ\text{C}$, после чего климатическая система Земли не будет откликаться повышением температуры на дальнейшие выбросы парниковых газов.

Парниковый эффект, формируемый тремя основными антропогенными парниковыми газами (CO_2 , CH_4 , N_2O), не может повысить среднюю глобальную температуру приземного слоя атмосферы более чем на $8,7^\circ\text{C}$ сверх доиндустриального уровня $+15^\circ\text{C}$ (288K). Человечеству следует готовиться к возможному установлению на Земле в будущем именно такой максимальной температуры глобального потепления и предпринимать соответствующие необходимые адаптивные действия.

При умеренном темпе декарбонизации мировой экономики на протяжении всего XXI века добавление в атмосферу одной миллионной объемной доли (1 ppm-eq) антропогенных парниковых газов будет увеличивать единичную мощность потенциала радиационного усиления J_R (интенсивность парникового эффекта) примерно на 0,08 Вт/м², что по возрастанию получаемого планетой потока энергии эквивалентно приближению Земли к Солнцу примерно на 11 тыс. км/ppm-eq.

Намеченная Парижским соглашением ограничительная цель по удержанию роста средней глобальной температуры ниже $+2^\circ\text{C}$ по сравнению с доиндустриальным периодом нереальна и не может быть обеспечена ни при каких обстоятельствах. Температуру глобального потепления $+2^\circ\text{C}$ можно было удерживать в долговременном плане при условии, если бы человечество обеспечило углеродную нейтральность в 1990 г., когда концентрация антропогенных парниковых газов в атмосфере не превышала 100 ppm-eq. Современная концентрация около 190 ppm-eq антропогенных парниковых газов в атмосфере способна гарантированно нагреть климатическую систему Земли до $3,5^\circ\text{C}$ по сравнению с доиндустриальным уровнем.

В 2020 г. сформированный антропогенными парниковыми газами потенциал парникового эффекта по повышению радиационно-равновесной

температуры приземного слоя атмосферы был использован на 71%, а потенциал диоксида углерода CO₂ — на 84%. На оставшиеся 16% нереализованного вклада «нагревательного потенциала» диоксида углерода приходится около 1,8°C, из которой на долю выбросов от сжигания ископаемого топлива приходится примерно 1,4°C.

Человечеству следует сопоставить высокую для современной цивилизации социально-экономическую цену осуществления сценария полного отказа от использования ископаемого топлива с относительно скромным эффектом, который будет получен в будущем от смягчения глобального потепления на 1,4°C.

Литература

1. Тетельмин В. В. Энергетические особенности и пределы глобального потепления // Энергия: экономика, техника, экология, 2023. № 3. — С. 27–34.
2. Arrhenius S. On the influence of carbonic acid in the air upon the temperature of the ground. — London: Edinburgh and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science, 1896, 41. — Pp. 237–276.
3. Manabe S., Wetherald R. T. The effects of doubling of the CO₂ concentration on the climate of a general circulation model // J. of the Atmospheric Science, 1975. V. 32. No1. — Pp. 3–15.
4. Силвер Дж. Глобальное потепление без тайн. — М.: Эксмо, 2009. — 336 с.
5. Technical Summary. In Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. — Cambridge University Press, 2021. — Pp. 33–144.
6. МГЭИК. Изменение климата. Обобщенный доклад. Вклад рабочих групп I, II и III в пятый оценочный доклад МГЭИК. — Женева: МГЭИК, 2014. — С. 44.
7. Семенов С. М. Парниковый эффект: открытие, развитие, концепции, роль в формировании глобального климата и его антропогенных изменений // Фундаментальная и прикладная климатология, 2015. № 2. — С. 103–126.
9. Тетельмин В. В. Физика антропогенного парникового эффекта и глобальное потепление в XXI веке при умеренном сценарии декарбонизации мировой энергетики // Использование и охрана природных ресурсов в России, 2025. № 1. — С. 31–41.
10. Бринкман Э. Физические проблемы экологии. — М.: Интеллект, 2012. — 288 с.
11. Джирард Дж. Основы химии окружающей среды. — М.: Физматлит, 2008. — 640 с.
12. Бажин Н. М. Метан в окружающей среде. — Новосибирск: СО РАН, 2010. — 126 с.
13. Trenberth K. E., Fasullo J. T., Kiehl J. Earth's global energy budget // Bull. of American Meteorological Society, march 2009. — Pp. 311–323.
14. Тетельмин В. В. Расчетное подтверждение недостижимости климатических целей Парижского соглашения // Экология промышленного производства, 2024. № 2. — С. 58–63.
15. Тетельмин В. В. Расчетные функции обогревающего воздействия антропогенного парникового эффекта // Использование и охрана природных ресурсов в России, 2024. № 4. — С. 23–31.

Reference

1. Tetelmin V. V. Energeticheskie osobennosti i predeli globalnogo poteplenia // Energiya. № 3. 2023. S. 27–34.
2. Arrhenius S. 1896. On the influence of carbonic acid in the air upon the temperature of the ground. The London, Edinburgh and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science, 41, p. 237–276.
3. Manabe S., Wetherald R. T. The effects of doubling of the CO₂ concentration on the climate of a general circulation model. Journal of the Atmospheric Science, 1975. Vol. 32, No 1, h. 3–15.
4. Silver D. Globalnoe poteplenie bez tain M.: Eksmo. 2009. 336 p.
5. Technical Summary. In Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 33–144.
6. MGEIK, 2014: Izmenenie klimata. 2014. Obobchenni doklad. Vklad rabochich grupp I, II, III v doklad MGEIK. Zheneva. S. 44.
7. Semenov S. M. Parnikovi effect: otkritie, razvitie koncepczii, rol v formirovanie globalnogo climate i ego izmenenie // FiPC. № 2. 2015. S. 103–126.
8. Tetelmin V. V. Fizika antropogennogo parnikovogo effecta i globalnoe poteplenie v XXI veke pri umerennom szenarii decarbonizazii. Ispolsovanie i ochrana prirodnic resursov. № 1. 2025. S. 31–41.
9. Tetelmin V. V. Raschetnie funkzii obogrevauschego vozdeistviya parnikovich gazov // Ispolsovanie i ochrana prirodnic resursov. № 4. 2024. S. 23–31.
10. Brinkman E. Fizicheskie problemi ecologii. M.: Intellekt. 2012. 288 S.
11. Dzhirard D. Osnovi khimii okruzhauchei sredi. M.: FIZMATLIT. 2008. 640 s.
12. Bashin N. M. Metan v okrushauschei srede. Novosibirsk: SO RAN. 2010 126 p.
13. Trenberth K. E., Fasullo J. T., Kiehl J. Earth's global energy budget. Bulletin of American Meteorological Society, march 2009. P. 311–323.
14. Tetelmin V. V. Raschetnoe podtvorschdenie nedostischimosti zelei Parischskogo soglascheniya. EPP. № 2. S. 58–63.

Сведения об авторе:

Тетельмин Владимир Владимирович, д.т.н., проф., акад. РЭА, главный специалист Института экологии Российского университета дружбы народов (РУДН) им. Патриса Лумумбы, член Общественного совета при Минэнерго РФ; e-mail: v-tetelmin@rambler.ru.

Углекислый газ атмосферы и глобальное потепление

В.В. Снакин, д.б.н., проф.,

Музей земледования МГУ имени М.В. Ломоносова,

Институт фундаментальных проблем биологии РАН, Российская экологическая академия

Рассматриваются дискуссионные вопросы роли углекислого газа атмосферы в современном глобальном потеплении климата и причины роста его концентрации в атмосфере. Показано, что положенная в основу борьбы с глобальным потеплением виновность антропогенного роста концентрации углекислого газа в атмосфере не только не доказана, но противоречит основам физической химии. Наблюдаемый рост концентрации углекислого газа в атмосфере — результат, а не причина потепления климата. Поскольку углекислый газ атмосферы — важный фактор фотосинтеза, то борьба с ним направлена на снижение продукционного потенциала биосферы. Всё это ставит под сомнение успешность мероприятий в рамках декарбонизации экономики.

Ключевые слова: причины глобальных изменений климата; тепловое загрязнение атмосферы; парниковый эффект; система Мировой океан–атмосфера; биопродуктивность ландшафтов; декарбонизация экономики.

Введение

Проблема потепления климата является одной из наиболее обсуждаемых экологических тем. Наблюдаемые в последние десятилетия тенденции глобальных изменений климата вызывают озабоченность мирового сообщества (особенно политиков, экономистов и журналистов) возможными негативными последствиями таких изменений, в частности, ростом засухливости регионов и, соответственно, угрозой сельскому хозяйству, таянием ледников и вечной мерзлоты, подъёмом уровня Мирового океана и прочими явлениями катастрофического характера. Однако насколько обоснованы эти опасения? В состоянии ли человечество предотвратить негативное развитие природных процессов? Или, напротив, своими действиями усугубляет экологическую ситуацию?

Ответы на эти вопросы зависят от надёжности наших знаний о механизмах глобальных изменений климата и от реальности оценки антропогенного фактора в глобальных природных процессах.

Несмотря на дискуссионность причин потепления и отсутствие достоверных доказательств вины антропогенного роста выбросов парниковых газов в этом процессе, мировая природоохранная практика всецело нацелена на т.н. декарбонизацию экономики как основы борьбы с негативными аспектами глобального изменения климата. Борьба эта лишена строгой научной основы, наполнена недоказанными предположениями, главным из которых является гипотеза о решающем влиянии вклада человечества в парниковый эффект, причем преимущественно за счет антропогенного роста углекислого газа (диоксида углерода) в атмосфере, являющегося в этом эффекте отнюдь не приоритетным парниковым газом.

Согласно В.И. Вернадскому, решение стоящих перед человечеством задач возможно только с опорой «на точно установленные научные и эмпирические факты и обобщения, изредка

допуская рабочие научные гипотезы» [1, с. 236]. Если непротиворечащие научным фактам эмпирические обобщения представляют собой основной фонд науки, то многочисленные логические построения (научные гипотезы, конъюнктуры, экстраполяции и т. п.) «составляют исторически преходящее, меняющееся содержание науки..., достоверность которых обычно небольшая» [1, с. 106].

Именно поэтому представляется весьма рискованным путём использование таких гипотез в качестве основания для принятия управленческих решений, в т.ч. и в борьбе с потеплением климата путем декарбонизации экономики.

Рассмотрим подробнее вопрос о роли углекислого газа в динамике климатических изменений.

Дискуссия о причинах глобального потепления климата

Общепризнано, что климатические параметры постоянно и циклично изменялись за длительную историю Земли в отсутствие влияния деятельности человека. Данные исследования ледяных кернов на российской внутриконтинентальной станции «Восток» в Антарктике (рис.) чётко демонстрируют взаимосвязанные изменения содержания атмосферной пыли, температуры, концентрации углекислого газа и метана в атмосфере, инсоляции и уровня моря за последние 420 000 лет [2, 3 и др.]. При этом современные изменения климатических параметров находятся в пределах полученных за этот период колебаний. Важно также отметить, что четкая взаимосвязанность практически всех приведённых на рисунке параметров не даёт основание утверждать, изменение какого из этих параметров является первопричиной происходящих изменений.

Представленные на рисунке данные также иллюстрируют, что длительность современного периода наблюдения климатических параметров (~200

лет), на основании которых пытаются делать глобальные заключения о направлениях и скорости их изменений в наше время, ничтожна в сравнении с дискретностью данных о прошлых изменениях климата; период современных наблюдений осцилляции параметров много меньше толщины линий на этом графике. Отсюда и весьма низкая степень достоверности порой высказываемых суждений о том, что в наше время скорости роста температуры, концентрации углекислого газа и других парниковых газов превышают таковые в прошлом.

Естественные факторы колебаний климата

Климатическая система планеты изменяется во времени в результате внешних воздействий, а также под воздействием собственной внутренней динамики: прежде всего, вариаций потока солнечной радиации (инсоляции) и геотермальной энергии.

При этом *динамика инсоляции*, определяемая солнечной активностью, вращениями Земли вокруг Солнца и собственной оси является определяющей глобальные изменения климата. Множество научных исследователей [4–6 и мн. др.] доказывают, что до настоящего времени именно естественные циклы поступления солнечной энергии на поверхность планеты являются главной причиной наблюдающегося потепления климата. Идущие в недрах Земли *геотермальные процессы* являются дополнительным, постоянно меняющимся источником тепла в климатическую систему планеты. Об этом, в частности, свидетельствует тот факт, что в настоящее время потепление океанических вод идет более быстрыми темпами в сравнении с атмосферой [7].

Антропогенные факторы глобального потепления климата

Самый очевидный и, возможно, весьма значимый вклад в потепление климата человечество вносит в результате *прямого теплового загрязнения биосферы*. Оно происходит в результате получения человеком энергии из самых различных источников (ископаемое топливо, атомная энергетика и др.) и превращения этой энергии в конечном счёте в тепло. Дополнительный нагрев окружающей среды происходит даже вследствие кондиционирования помещений. Так, температура атмосферы в крупных населённых пунктах существенно (на 1–3°C) выше температуры окружающих территорий. Во многом именно благодаря этому постоянному «подогреванию» населёнными пунктами, промышленными предприятиями и инфраструктурой окружающей среды (дороги, подземные сооружения, летательные аппараты и др.) метеостанции постоянно фиксируют новые температурные рекорды.

Согласно статистическим данным, с 1860 по 2015 г. потребление энергии увеличилось приблизительно в 40 раз и по прогнозам к 2040 г. должно

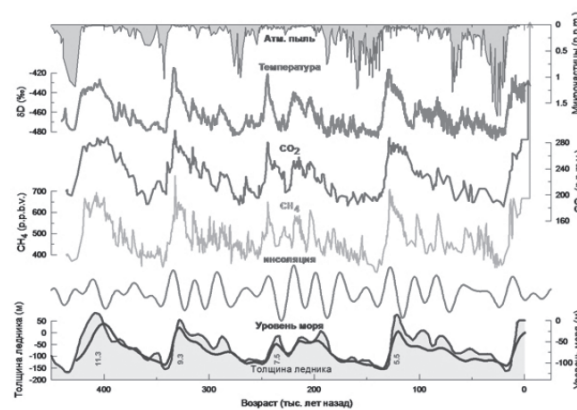


Рис. Изменения концентрации углекислого газа и метана в атмосфере, температуры, содержания атмосферной пыли, инсоляции и уровня моря за последние 420 000 лет, по данным станции «Восток»

увеличиться ещё в 1,24 раза. Вся эта энергия после совершения полезной работы переходит в тепловую и разогревает атмосферу¹. Оценка влияния альтернативной (водородной, солнечной и ветровой) энергетики на тепловое загрязнение планеты по сравнению с традиционной углеродной показала, что они приводят порой даже к большему тепловому загрязнению и имеют ряд других существенных недостатков, не позволяющих считать их в полной мере «зелёной» энергетикой [6, 8].

Несмотря на очевидность прямого воздействия антропогенного теплового фактора на климат планеты, количественно роль этого фактора в потеплении до сих пор не оценена.

Еще одним антропогенным фактором влияния на климат являются *изменение отражательной способности поверхности Земли (альбедо) и запыление атмосферы*. С одной стороны, уменьшение альбедо благодаря распашке земель, асфальтовому покрытию дорог, сведению лесов, загрязнению снежных поверхностей пылью и пр. ведёт к увеличению поглощения солнечного тепла Землёй. С другой, — антропогенное запыление атмосферы снижает поступление солнечной энергии. Поэтому данные о вкладе этих факторов разнонаправлены, противоречивы и пока ограничены небольшим сроком наблюдений. Так, авторы [9] не обнаружили корреляции между изменениями земного альбедо и показателями солнечной активности.

Однако в силу ряда причин (важность климата для развития человечества, ответственность человека за свою деятельность, экологический алармизм, политико-экономические соображения) большая часть международных документов природоохранного и социально-политического характера, в частности, подписанное большинством

¹ Парижское соглашение почему-то эти очевидные тепловые выбросы в атмосферу не учитывает, а всю борьбу с потеплением климата сосредоточило на декарбонизации энергетики.

стран мира Парижское соглашение по климату, основной причиной современного глобального потепления называет *антропогенный вклад в парниковый эффект*. Это положение легло в основу предпринимаемых международным сообществом усилий по т. н. декарбонизации экономики, заключающихся в дискриминации отраслей, в ходе функционирования которых наблюдается выделение углекислого газа в атмосферу.

В основе современной трактовки этой гипотезы лежит *компьютерное моделирование климата*, проведенное Сюкуро Манабе (Япония, США), что было отмечено Нобелевской премией по физике (совместно с Клаусом Хассельманом и с Джорджио Паризи, 2021 г.) [10], и *два недоказанных предположения*: 1) основной вклад в современное потепление несет парниковый эффект за счет т.н. парниковых газов, преимущественно углекислого газа; 2) рост концентрации углекислого газа обусловлен деятельностью человечества благодаря использованию углеродсодержащих источников энергии.

Создается впечатление, что это награждение аналогично ситуации при анализе причин возникновения т.н. «озоновых дыр». Профессор П.Й. Крутцен (Германия), профессор М. Молина (США) и профессор Ш. Роулэнд (США) получили в 1995 г. Нобелевскую премию за открытие разрушающего действия фреона на озон. Это открытие сразу же стало предметом критики за нереальность реализации в атмосфере, но тем не менее именно на этом основании были приняты Венская конвенция об охране озонового слоя (1985) и Монреальский протокол к ней (1987), в дальнейшем показавшие свою неэффективность в отношении охраны озонового слоя.

Множество фактов находится в противоречии с гипотезой антропогенного увеличения парникового эффекта.

Так, согласно наблюдениям учёных НАСА (США), глобальное потепление наблюдается не только на Земле, но и на Марсе. Такое одновременное потепление на Земле, на Марсе и на ряде других планет Солнечной системы показывает, что глобальное потепление на нашей планете имеет естественную космическую природу, а деятельность человека в данном случае не является определяющей.

Результаты исследований датских метеорологов, обнаруживших корреляцию между длительностью солнечных циклов и температурой Северного полушария [11], свидетельствуют о влиянии гелиокосмических факторов на климат и заставляют усомниться в правильности концепции, объясняющей наблюдаемое потепление в основном антропогенным фактором.

Анализ динамики длины 169 ледников с 1700 по 2000 гг. показал несовпадение динамики таяния ледников с «бумом» использования углево-

дородов (начало первого произошло на 180 лет раньше). С активизацией использования углеводородов также не совпадает начало подъема уровня Мирового океана [12].

Сопряжённый анализ динамики солнечной активности и приповерхностной температуры воздуха, проведенный сотрудниками географического факультета МГУ, показывает, что потепление преимущественно обусловлено динамикой инсоляции Земли [4, 13 и др.].

Обвинение антропогенных выбросов углекислого газа в качестве причины современного глобального потепления в дальнейшем стало основой разработки низкоуглеродной экономики, имеющей минимальный объем эмиссии углекислого газа, а также конкретных экономических мер, направленных на борьбу как с традиционной энергетикой, основанной на использовании углеродсодержащего топлива, так и на все отрасли промышленности и сельского хозяйства, связанные с выбросами углекислого и других парниковых газов (так называемая декарбонизация экономики).

Оценка вклада антропогенного фактора в возможное увеличение парникового эффекта

Проведенный анализ [7] по данным разных авторов, результаты которого представлены в *таблице*, показывает, что максимально возможная оценка вклада антропогенных выбросов углекислого газа и метана в увеличение парникового эффекта ниже, соответственно, 1 и 3 %. Таким образом, если парниковый эффект и имеет значение в современном потеплении климата, то антропогенный вклад за счет выбросов углекислого газа, как, впрочем, и метана, не является определяющим в этом процессе.

Таблица

Ориентировочная оценка возможного антропогенного вклада в парниковый эффект паров воды, углекислого газа и метана, %

Фактор	H_2O	CO_2	CH_4
Ориентировочное содержание в атмосфере	0,5–4	0,04–0,05	0,00017
Вклад в парниковый эффект	40–90	10–20	4–9
Антропогенный вклад в рост концентрации	~0	~5	25–33
Антропогенный вклад в парниковый эффект	~0	<1	<3

Углекислый газ

в системе Мировой океан — атмосфера

Известно, что концентрация CO_2 в водах зависит от температуры и что Мировой океан — основное хранилище углекислого газа биосферы (по имеющимся оценкам, в водах океана растворено около 140 трлн т, что в 60 раз больше, чем в атмосфере) и ряда других парниковых газов. В резуль-

тате меняющихся природных процессов эти газы как поглощаются водами океана, так и выделяют-ся в атмосферу, существенным образом оказывая влияние на климат Земли. Мысль о том, что Мировой океан является регулятором содержания углекислого газа в атмосфере неоднократно высказывалась в научной литературе [14–17 и др.].

Действительно, согласно основам физической химии, растворимость углекислого газа в воде с ростом температуры существенно падает. Поэтому при потеплении климата (в т. ч. океанических вод, интенсивность потепления которых, как уже указывалось выше, согласно [7], происходит быстрее, чем атмосферы) огромный объем углекислого газа должен выделяться в атмосферу. Поэтому наблюдающийся в последние годы рост концентрации углекислого газа в атмосфере должен быть обусловлен прежде всего повышением температуры и соответствующим выделением углекислого газа из природных вод, преимущественно из вод Мирового океана.

Действительно, элементарный расчет физико-химического равновесия в системе Мировой океан — атмосфера показывает, что при повышении температуры на 2°С (от 14 до 16°) растворимость углекислого газа в воде уменьшится более чем на 6% (согласно справочникам физико-химических величин, например [18]). Это означает, что *при таком потеплении (только на 2°) из природных вод должно выделиться огромное количество углекислого газа, способное почти удвоить его концентрацию в атмосфере!*

Следовательно, наблюдающийся в последние десятилетия *рост концентрации углекислого газа в атмосфере является прежде всего не причиной, а следствием глобального потепления!*

Углекислый газ и биопродуктивность ландшафтов

Наблюдающееся современное потепление климата и соответствующее повышение концентрации углекислого газа в атмосфере, как важнейшего фактора фотосинтеза, с неизбежностью вызывает в районах с достаточным увлажнением рост биопродуктивности ландшафтов и соответствующий рост урожайности сельскохозяйственных культур.

Обоснование этого роста, максимально проявляющееся у сельскохозяйственных растений, рассмотрено, в частности, в работе [19]. Наблюдаемый в настоящее время рост концентрации углекислого газа в атмосфере оказывает влияние на растительный покров, увеличивая не только скорость роста биомассы растений, но и интенсивность транспирации ими воды растениями, т. е. увеличивая влажность воздуха, что может оказать существенное влияние на состояние окружающей среды, региональный климат и хозяйственную деятельность человека.

Реальный материал о росте урожайности с.-х. культур в России с убедительностью показан в работе чл.-корр. РАН В. Н. Кудеярова [20], свидетельствующей, что несмотря на значительное сокращение (почти вдвое) посевных площадей в 2000-х годах по сравнению с 1960–1990 гг. и снижения применения удобрений в Российской Федерации валовые сборы зерна увеличились к 2022 г. более чем вдвое! Одним из факторов, способствовавших росту урожайности, с очевидностью является возросшая концентрация углекислого газа атмосферы.

В связи с этим невольно напрашивается мысль, что борьба с ростом концентрации углекислого газа в атмосфере направлена против важнейшего биосферного процесса — биопродуктивности ландшафтов.

При этом так называемая низкоуглеродная, «зеленая» экономика не может быть средством борьбы с глобальным потеплением климата не только потому, что рост содержания углекислого газа в атмосфере является преимущественно следствием, а не причиной потепления, а еще и потому, что низкоуглеродная энергетика связана, как правило, с ростом глобальной нагрузки на биосферу, в частности в связи с ростом теплового загрязнения, рассмотренного в работе [8].

Не следует уподобляться донкихотскому «сражению с ветряными мельницами», пытаясь разрабатывать всевозможные препятствия вполне естественным процессам, происходящим с выделением углекислого газа. Не стоит забывать, что мы — люди — как практически все живые организмы в процессе дыхания также выделяем углекислый газ. Как показано в предшествующей работе [21], решать экологические проблемы (кстати на практике пока весьма непоследовательно и, главное, не эффективно) путем нарушения естественных циклов углерода и финансовыми манипуляциями с квотами на выбросы углекислого газа, не имея на это научного обоснования, весьма неразумно и затратно.

Заключение

Имеющиеся на сегодняшний день научные данные о факторах, определяющих глобальные изменения климата, показывают на преимущественно природные причины наблюдающегося в последние десятилетия потепления. Это прежде всего факторы космической природы (динамика инсоляции), а также геотермальные процессы. Среди антропогенных факторов важным, но практически не оцененным до сего времени вкладом в современное потепление климата, является прямое тепловое загрязнение.

Принятая за основу в международных природоохранных документах гипотеза решающего антропогенного вклада в современное потепление за счет роста концентрации углекислого и других парниковых газов *противоречит наблюдаемым*

фактам и физико-химическим законам. По имеющимся оценкам, возможный антропогенный вклад в парниковый эффект за счет антропогенных выбросов углекислого газа составляет менее 1%.

При этом наблюдаемый в последние десятилетия рост концентрации углекислого газа в атмосфере, как и другого парникового газа — метана, вызван потеплением, т. е. является его следствием, но не причиной.

Углекислый газ — в обсуждаемых концентрациях безвредный для человека газ и один из главных участников фотосинтеза. Поэтому борьба с ростом его концентрации в атмосфере есть борьба с главным биосферообразующим продукционным процессом — созданием живого вещества.

Необходимо также помнить о наличии природных факторов, регулирующих последствия климатических изменений. За миллиарды лет своего развития биосфера Земли выработала вполне надёжные механизмы поддержания равновесия при различного рода изменениях, имеющих, как правило, циклический характер.

При этом природные воды, прежде всего Мировой океан, а также продукционный процесс являются регулятором концентрации CO₂ в атмосфере.

При потеплении климата растёт количество углекислого газа в атмосфере, интенсифицируется фотосинтез, растёт скорость биопродукционного процесса, увеличивается транспирация воды растениями, увеличивается продуктивность сельскохозяйственных культур. Не случайно периоды потепления, имевшие место в истории нашей цивилизации историки называют *периодами климатического оптимума*. Например, *Римский климатический оптимум* — краткий период субатлантического периода, охватывающий время с 250 года до н. э. примерно до 400 года н. э. способствовал процветанию крупных империй, в т. ч. Римской.

Напротив, периоды похолодания с низкой урожайностью обозначают как климатические

пессимумы. Так, за римским климатическим оптимумом последовал климатический минимум раннего Средневековья, продолжившийся несколько столетий и связанный с Великим переселением народов, когда активизировалась миграция различных народов в поисках новых территорий с благоприятными условиями проживания, включая более продуктивные экосистемы.

Группа исследователей под руководством Ульфа Бюнтгена период с 536 по 660 год н. э. предложила назвать *Позднеантичным малым ледниковым периодом*. Для этого периода были приведены результаты анализа толщины годовых колец большой выборки группы деревьев, собранных в горном Алтае, показавшие, что рост годовых колец замедляется в холодные годы и может служить фактором, позволяющим реконструировать температуру в местности, в которой произрастали деревья. Авторы рассматривают этот период похолодания как дополнительный экологический фактор, способствовавший возникновению Юстиниановой чумы, трансформации восточной части Римской империи и распаду империи Сасанидов, переселению из азиатских степей и Аравийского полуострова, распространению славяноязычных народов и политическим потрясениям в Китае [22].

Таким образом, современное потепление климата следует воспринимать как очередной период в череде глобальных циклов потепления — похолодания в извечно меняющихся природных условиях, период с более благоприятными условиями в сравнении с периодами похолодания. Как всякое изменение окружающей среды оно вызывает необходимость как адаптации к нему, так и развития приемов противодействия там, где это необходимо. Однако активизировавшаяся борьба с самыми разнообразными выбросами углекислого газа видится в этом отношении абсолютно необоснованной и связанной с бесполезными тратами ресурсов человечества.

Литература

1. Вернадский В.И. Научная мысль как планетное явление / Под ред. А.Л. Яншина. — М.: Наука, 1991. — 271 с.
2. Вайцеккер Э., Ловинс Э., Ловинс Л. Фактор четыре (затрат половина, отдача двойная). — М.: Academia, 2000. — 400 с.
3. Petit J. R. et al. Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica // Nature, 1999. 399 (6735). — Pp. 429–436.
4. Фёдоров В.М. Анализ пространственных откликов приповерхностной температуры воздуха на многолетнюю изменчивость инсоляции Земли // Жизнь Земли, 2017. Т. 39. № 3. — С. 245–262.
5. Снакин В.В. Глобальные изменения климата: прогнозы и реальность // Жизнь Земли, 2019. Т. 41. № 2. — С. 148–164.
6. Цегельский В.Г. Мифы Парижского соглашения по климату // Жизнь Земли, 2023. Т. 45. № 4. — С. 540–555. https://doi.org/10.29003/m3535.0514-7468.2019_45_4/540-555.
7. Climate Change: Ocean Heat Content // Climate Change: Ocean Heat Content | NOAA Climate.gov., 2023.
8. Снакин В.В. Низкоуглеродная энергетика и глобальное потепление климата // Жизнь Земли, 2024. Т. 46. № 1. — С. 4–19. https://doi.org/10.29003/m3770.0514-7468.2024_46_1/4-19.
9. Goode P.R. et al. Earth's Albedo 1998–2017 as Measured from Earthshine // Geophysical Research Letters, 2021. 48 (17). <https://doi.org/10.1029/2021GL094888/>.
10. Tyutyunnik V.M. Physical modelling of Earth's climate: 2021 Nobel Prize winners in Physics Syukuro Manabe and Klaus Hasselmann // J. of Advanced Materials and Technologies, 2022. 7(1). — Pp. 8–12. DOI: 10.17277/jamt.2022.01.pp.008–012.
11. Friis-Christensen E. and Lassen K. Length of the Solar Cycle: An Indicator of Solar Activity Closely Associated with Climate // Science, 1991. N1. V. 254(5032). — Pp. 698–700. DOI: 10.1126/science.254.5032.698.

12. *Robinson A. B., Robinson N. E., Soon W.* Environmental Effects of Increased Atmospheric Carbon Dioxide // *J. of American Physicians and Surgeons*, 2007. N12 (3). — Pp. 79–90.
13. *Фёдоров В. М.* Прогноз изменения уровня Мирового океана на основе расчётов инсоляции Земли // *Жизнь Земли*, 2018. Т. 40, № 2. — С. 143–15.
14. *Борисенков Е. П., Алтунин И. В.* Рост углекислого газа в атмосфере и его влияние на климат // *Докл. АН СССР*, 1985. Т. 281. № 3. — С. 559–561.
15. *Монин А. С., Берестов А. А.* Новое о климате // *Вестник РАН*, 2005. 75 (2). — С. 126–138.
16. *Смирнов Б. М.* Физика глобальной атмосферы. — Долгопрудный.: ИД Интеллект, 2017. — 256 с.
17. *Фёдоров В. М., Алтунин И. В., Фролов Д. М.* Влияние диоксида углерода антропогенного генезиса на термический режим атмосферы и его изменения // *Жизнь Земли*, 2022. Т. 44. № 4. — С. 402–414. https://doi.org/10.29003/m3115.0514-7468.2022_44_4/402-414.
18. *Краткий справочник физико-химических величин* / Под ред. А.А. Равделя и А.М. Пономаревой. 8-е изд. — Л.: Химия, 1983. — С. 25.
19. *Акатов П. В.* Реакция растений на рост концентрации углекислого газа в атмосфере // *Живые и биокосные системы*, 2013. № 5. URL: (<http://www.jbks.ru/archive/issue-5/article-14>)
20. *Кудеяров В. Н.* Шестидесятилетнее изменение климата и баланс углерода в земледелии РФ // *Почва как компонент биосферы: актуальные проблемы в условиях изменений климата. Матер. Всеросс. научной конф., посвященной 120-летию В.А. Ковды.* — Пущино: 2024. — С. 12–15.
21. *Снакин В. В.* Наука, технологии и геополитика: глобальные экологические аспекты // *Использование и охрана природных ресурсов в России*, 2024. № 3. — С. 3–9. EDN BSTTCSB.
22. *Büntgen U., Myglan V., Ljungqvist F. et al.* Cooling and societal change during the Late Antique Little Ice Age from 536 to around 660 AD. // *Nature Geosci*, 2016. 9. — Pp. 231–236. URL: <https://doi.org/10.1038/ngeo2652>.

Сведения об авторе:

Снакин Валерий Викторович, д.б.н., проф., зав. сектором Музея земледования МГУ имени М. В. Ломоносова, г.н.с. Института фундаментальных проблем биологии РАН, член Президиума Российской экологической академии; e-mail: snakin@mail.ru.

Короткие сообщения

Каталог эколого-климатических станций

Сотрудниками лаборатории биогеоценологии им. В.Н. Сукачёва Института проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН (ИПЭЭ РАН) совместно с 45 соавторами из 22 научных учреждений подготовлен и опубликован в электронном формате **Каталог эколого-климатических станций (ЭКС) России, предоставляющий информацию о наблюдениях за потоками парниковых газов между экосистемами и атмосферой по состоянию на май 2025 года.**

Задачами создания данного Каталога являются систематизация информации о станциях мониторинга экосистемных потоков парниковых газов, поощрение научного сотрудничества в области изучения экосистемно-атмосферного обмена, предоставление информации

Текущая версия Каталога включает информацию о 35 станциях в экосистемах различных природных зон — от степей до тундр. В каталог вошли обновленные сведения о станциях, работающих в рамках важнейшего инновационного проекта государственного значения «Создание единой национальной системы мониторинга климатически активных веществ» (ВИП ГЗ), а также о станциях коллективов, курирующих работу ЭКС в рамках проекта Министерства науки и высшего образования РФ по созданию карбоновых полигонов.

Анализ данных, полученных с помощью национальной системы мониторинга, поможет улучшить качество принимаемых управленческих решений при адаптации российской экономики к изменениям климата. Эти данные в дальнейшем будут использоваться для корректировки мероприятий плана реализации Стратегии низкоуглеродного развития до 2050 года.

Мониторинг потоков парниковых газов осуществляется с использованием метода турбулентных пульсаций, который позволяет получить прямые оценки баланса парниковых газов между земной поверхностью и атмосферой на экосистемном масштабе осреднения. Измерительные комплексы включают инфракрасные газоанализаторы, акустические анемометры, а также другие метеорологические приборы, которые установлены на мачтах (вышках) высотой от 2 до 50 метров.

Каталог будет обновляться по мере предоставления информации ответственными за станции, развития сети RuFlux и возникновения новых станций в рамках других программ и проектов.

ИПЭЭ РАН

Изменение среднегодовой температуры в районе городов Тюмень, Ханты–Мансийск и Салехард

А.В. Шпильман¹, к. г.-м. н., П.А. Стулов², П.В. Владимирова¹

¹ООО «Шпильман Бразерс», г. Тюмень

²АУ ХМАО «НАЦ рационального недропользования им. В. И. Шпильмана», г. Ханты–Мансийск

В статье представлены результаты реальных изменений среднегодовой температуры в трёх точках Западной Сибири, в городах Тюмень, Ханты–Мансийск и Салехард. За основу взяты показания метеостанций. Среднегодовая температура получена осреднением данных метеостанций. Тренды изменения среднегодовой температуры оценены двумя способами, и получены близкие результаты. Отмечается значительное увеличение температуры в Арктике (в два раза больше, чем в Тюмени).

Ключевые слова: среднегодовая температура, климат, метеостанции, глобальное потепление, Арктика.

В последние годы большое внимание в России и во всем мире уделяется вопросам изменения климата [1]. При оценке изменения климата оперируют цифрой среднегодовой температуры Земли. Алгоритмы расчета среднегодовой температуры Земли сложные, используются компьютерные программы динамического моделирования процессов в атмосфере [2, с.66–70]. Гораздо более простым является расчет среднегодовой температуры в конкретной точке Земли и анализ закономерностей изменения такой величины. Имеется большая сеть стандартных метеостанций, из которых для исследования были выбраны три метеостанции № 28367, № 23933 и № 23330, расположенные рядом с городами Тюмень, Ханты–Мансийск и Салехард, соответственно. Все города находятся в Западной Сибири на расстоянии друг от друга примерно 1000 км в субмеридиональном направлении. Широта Тюмени — 57° северной широты, Ханты–Мансийска — 61° сев. широты, Салехарда — 66° сев. широты. Города находятся в разных климатических зонах.

Температура на метеостанции записывается 8 раз в сутки. При расчетах средних температур мы не использовали никаких корректировок замеров температур, поэтому среднее значение за год является суммой всех замеров, поделенной на число этих замеров. Среднегодовое значение температуры рассчитывалось за год с 1 января по 31 декабря каждого года. График изменения среднегодовой температуры в городе Тюмень с 1994 по 2023 год (рис. 1) показал высокую изменчивость этой величины год от года, как вверх, так и вниз. Среднегодовая температура менялась в г. Тюмень за 30 лет в широких пределах от 1,35°C до 4,68°C, то есть разброс среднегодовой температуры составляет 3,33°C. Это значительно выше изменений среднегодовой температуры Земли в 1,5°C, о которых говорят климатологи в мире.

Среднегодовая температура в городе Тюмень за 30 лет составила +2,62°C.

Тренд изменения среднегодовой температуры построен методом минимизации среднеквадра-

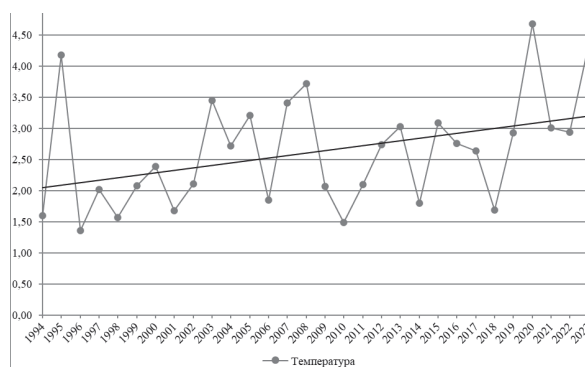


Рис. 1. Изменение среднегодовой температуры в г. Тюмень

тических отклонений. Задан линейный характер тренда, поскольку рассматривается небольшой временной интервал — 30 лет. Для более длительных интервалов необходимо учитывать периодический характер изменений среднегодовой температуры. Линия тренда показывает увеличение среднегодовой температуры. Для количественной оценки линии тренда оценено уравнение линии тренда среднегодовой температуры. В результате расчётов получилось уравнение линейного тренда:

$$T=0,04 \cdot y + 2,0^{\circ}\text{C},$$

где: T — значение тренда среднегодовой температуры, °C; y — число лет с 1994 года, при этом $y = 0$ в 1994 году и $y = 29$ в 2023 году; $0,04^{\circ}\text{C}$ — описывает ежегодное изменение тренда среднегодовой температуры; $+2,0^{\circ}\text{C}$ — начальное значение среднегодовой температуры (по тренду) в 1994 году.

Таким образом, линейный тренд изменения среднегодовой температуры за последние 30 лет показал повышение её в Тюмени на $1,2^{\circ}\text{C}$.

Интересно было оценить и изменение минимальной (рис. 2) и максимальной (рис. 3) температуры каждый год в г. Тюмень. В изменениях минимальных и максимальных температур не выявлено закономерностей, очень низкие минимальные температуры на следующий год могут смениться очень

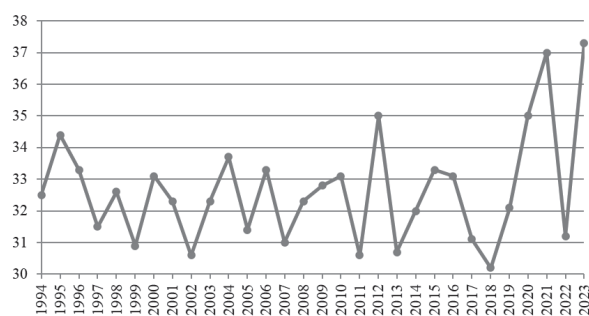


Рис. 2. График годовых минимальных температур в г. Тюмень

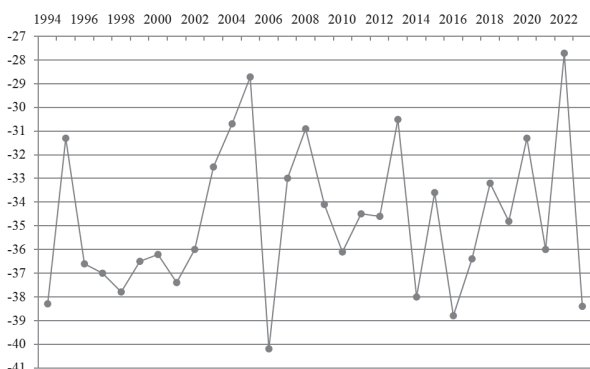


Рис. 3. График годовых максимальных температур в г. Тюмень

тёплыми. То же относится и к максимальным температурам.

Графики изменения среднегодовых температур были построены для всех трёх точек — Тюмень, Ханты—Мансийск, Салехард (рис. 4). Анализ кривых показал высокую степень коррелируемости между кривыми среднегодовых температур, несмотря на удалённость в тысячу километров. Коэффициент корреляции между Тюменью и Ханты—Мансийском составил 0,88, а между Тюменью

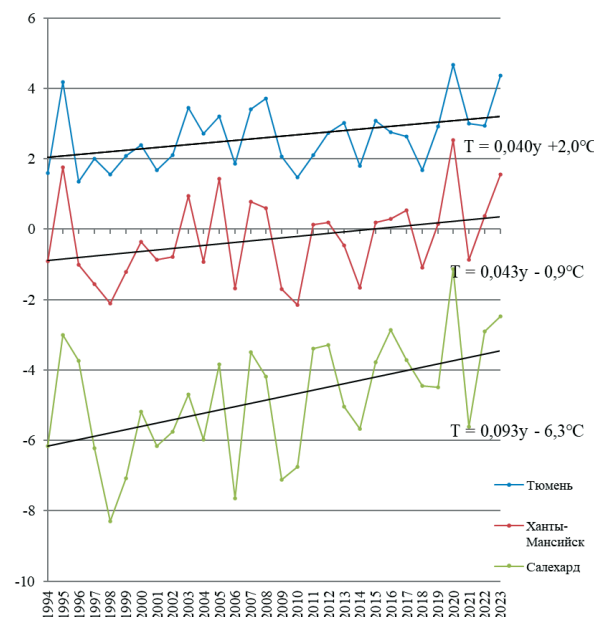


Рис. 4. Графики изменения среднегодовых температур

и Салехардом немного ниже — 0,7. Это свидетельствует о том, что изменения среднегодовых температур носят планетарный характер. Анализ трендов изменения среднегодовых температур показывает, что потепление на севере (в г. Салехард) идёт в два раза более высокими темпами ($+0,093^{\circ}\text{C}/\text{год}$) за последние 30 лет.

Предположение о линейности тренда, использованное ранее при расчётах, очень условно. В исследованиях применен другой способ осреднения таких сильно осциллирующих величин — метод скользящего сглаживающего окна. Ширина окна была выбрана в 7 лет. Т. е. значения с 1994 по 2000 год складывались, и сумма делилась на 7. Полученное значение относится к середине интервала, к 1997 г. Затем окно смещается на один год, и рассчитывается среднее с 1995 по 2001 год. Это значение относится к 1998 году и т. д. Построения графиков результатов, полученных методом скользящего окна, выполнены для всех трёх пунктов (рис. 5). Также были проведены тесты по расширению окна до 9 лет, но это не повлияло на результаты.

Расчёты показали, что результаты при использовании сглаживания скользящим окном и данные при расчёте линейного тренда во многом совпадают (табл.).

Таблица

Изменение трендов среднегодовой температуры за 30 лет

Город	по тренду	методом скользящего окна
Тюмень	$+0,92^{\circ}\text{C}$	$+1,01^{\circ}\text{C}$
Ханты—Мансийск	$+0,99^{\circ}\text{C}$	$+1,23^{\circ}\text{C}$
Салехард	$+2,14^{\circ}\text{C}$	$+2,13^{\circ}\text{C}$

Преимуществом является то, что во втором методе не требуется задавать характер тренда.

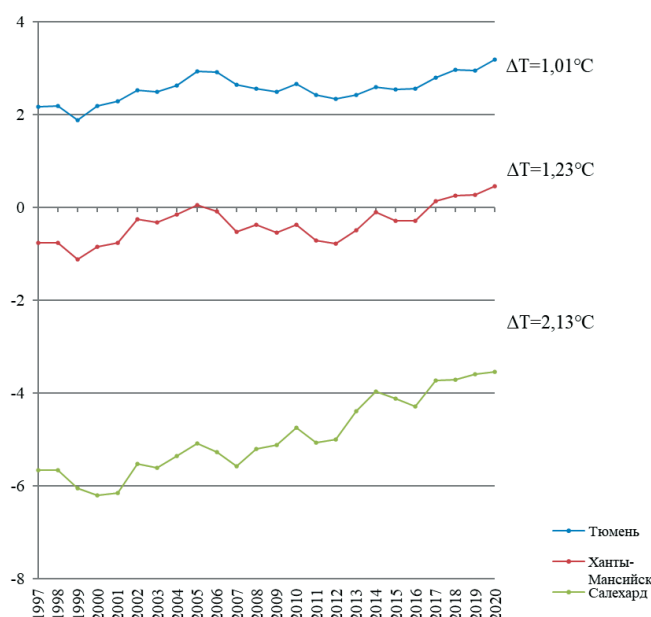


Рис. 5. Графики изменения среднегодовых температур после сглаживания методом скользящего окна

Выводы

1. Исходные данные по метеостанциям за последние 30 лет показывают тренд на увеличение среднегодовой температуры на 1–2°C. При этом Арктические территории теплеют значительно быстрее. Этот вывод требует проверки по другим метеостанциям, расположенным в Арктике.

2. Высокая коррелируемость данных о среднегодовых температурах на удалённых друг от друга станциях свидетельствует о планетарном характере этих изменений.

3. Изменения среднегодовой температуры в отдельных точках Земли значительно выше

трендовых изменений температуры и составляют 1,5–2,0°C в год как увеличения, так и уменьшения. Такие резкие и разнонаправленные изменения не могут быть объяснены изменениями концентрации парниковых газов. Причины их носят планетарный характер.

4. Можно предложить построить карту России по изменению среднегодовых температур за 30 лет по данным а трёхсот равномерно расположенных метеостанций. Это позволило бы выработать собственные независимые позиции по вопросам климатических изменений, основанные на статистическом анализе исходных данных метеостанций.

Литература

1. Климатическая доктрина Российской Федерации от 26 октября 2023 года. URL: <http://kremlin.ru/acts/bank/49910> (дата обращения — 1 октября 2024 г.).
2. Русакова Ю. А. Климатическая политика Российской Федерации и решение проблем изменения глобального климата / Ю. А. Русакова // Вестник МГИМО, 2015. № 1. — С. 66–72.

Сведения об авторах:

Шпильман Александр Владимирович, к.г.-м.н., доцент, директор ООО «Шпильман Бразерс», г. Тюмень; e-mail: alex.shpilman@mail.ru.

Стулов Пётр Александрович, первый замдиректора, Автономное учреждение ХМАО — Югры «Научно-аналитический центр рационального недропользования им. В.И. Шпильмана» (АУ «НАЦ РН им. В.И. Шпильмана»); e-mail: info@nacrn.hmao.ru.

Владимирова Полина Владимировна, инженер — геолог ООО «Шпильман Бразерс»; e-mail: vladimirova_polina@list.ru.

Короткие сообщения**Первый ежегодный Национальный доклад о климатической повестке в России**

26 июня на пресс-конференции в МИА «Россия сегодня» состоялась презентация Первого ежегодного Национального доклада о климатической повестке в России.

Доклад разработан Центром «Климатическая политика и экономика России» Института народнохозяйственного прогнозирования РАН при поддержке Фонда А.И. Мельниченко и Международной медиагруппы «Россия сегодня».

Аторы Национального доклада: Широков А.А., Колпаков А.Ю., Скубачевская Н.Д., Елисеев Д. О., Лазеева Е.А., Ибрагимов Ш. Ш., Жидких И.В.

Ключевые темы Доклада:

- российская климатическая повестка в числах;
- структура национальной климатической политики и углеродного регулирования
- перспективы развития механизмов ценообразования на выбросы парниковых газов в России;
- развитие национальной климатической политики в 2025–2026 годах

С Докладом можно ознакомиться на сайте ИНП РАН.

Аграрный центр МГУ

Охрана окружающей среды

EDN ISIRRM

УДК 504.064.36

Информационная система «Экология Подмосковья» и ее значение в повышении эффективности экологического мониторинга

С.С. Воронич¹, к.т.н., А.Г. Хлопаев², Д.А. Зайцев², И.Р. Хусаинов², Н.С. Воронич²

¹ГКУ МО «Мособлэкомониторинг»

²Российский биотехнологический университет

В статье рассматривается концепция информационной системы «Экология Подмосковья», предназначенной для мониторинга состояния атмосферного воздуха и метеорологических параметров Московской области. Описана функциональная архитектура системы, включающая подсистемы сбора, обработки, хранения и анализа данных. Представлены ключевые компоненты: интеграция с датчиками мониторинга, расчет индекса качества воздуха, формирование отчетности, а также механизм взаимодействия с региональными геоинформационными системами (РГИС). Обоснована необходимость автоматизации процессов мониторинга для повышения эффективности экологического контроля и оперативного реагирования на факты загрязнения. Предложенные решения направлены на обеспечение органов государственной власти, организаций и населения актуальной экологической информацией в реальном времени.

Ключевые слова: Московская область, экологический мониторинг, атмосферный воздух, передача данных, анализ, информационная система.

Введение

Информационная система «Экология Подмосковья» (далее — Система) предназначена для реализации процессов сбора, обработки и хранения информации экологического мониторинга окружающей среды Московской области и метеорологических данных с целью обеспечения федеральных и региональных органов государственной власти, органов местного самоуправления Московской области, организаций и населения текущей и экстренной информацией о загрязнении атмосферного воздуха.

Целью создания Системы является повышение эффективности экологического мониторинга окружающей среды Московской области и обеспечение доступности в сети Интернет информации о загрязнении атмосферного воздуха и метеорологических данных в соответствии с требованиями законодательства Российской Федерации и Московской области для федеральных и региональных органов государственной власти, органов местного самоуправления Московской области (далее — ОГВ и ОМСУ МО), организаций и населения.

В настоящее время возникают проблемы с обработкой и представлением в реальном масштабе времени информации о текущем состоянии загрязнения окружающей среды Московской области. Данная информация необходима для населения, а также должна использоваться в работе ОГВ и ОМСУ МО [1–3].

Содержательная часть

В РФ создается единая система государственного экологического мониторинга (мониторинга окружающей среды). Согласно ст. 63.1 Федерального закона от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» задачами единой системы государственного экологического мониторинга являются:

- регулярные наблюдения за состоянием окружающей среды;
- хранение, обработка (обобщение, систематизация) информации о состоянии окружающей среды;
- анализ полученной информации в целях своевременного выявления изменений состояния

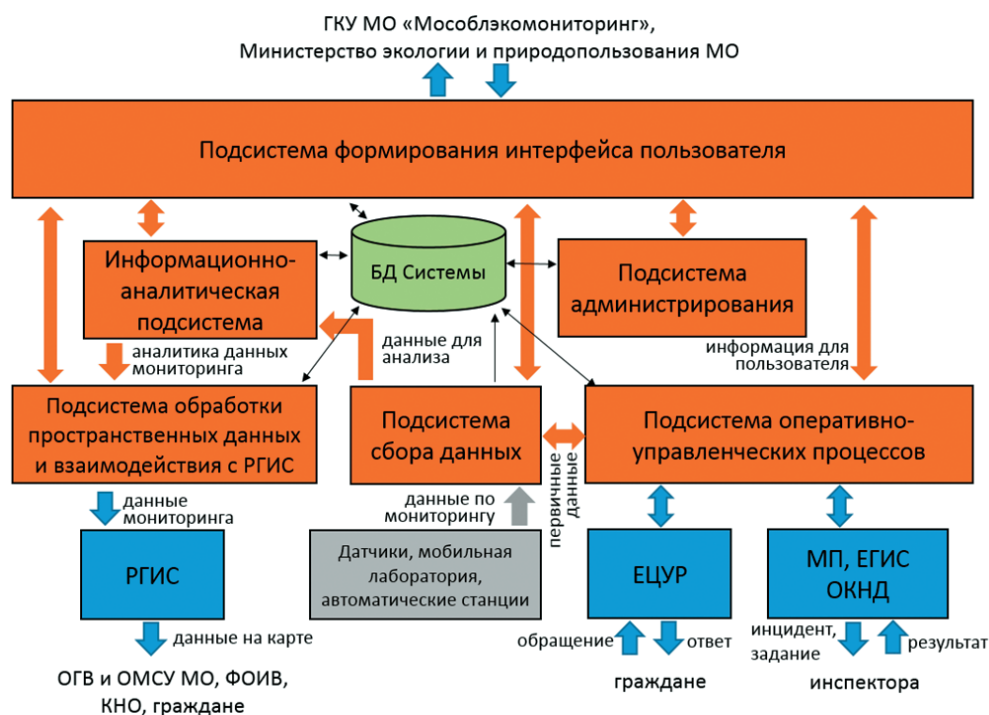


Рис. 1. Функциональная архитектура разрабатываемой информсистемы «Экология Подмосковья»

окружающей среды под воздействием природных и (или) антропогенных факторов, оценка и прогноз этих изменений;

— обеспечение органов государственной власти, органов местного самоуправления, юридических лиц, индивидуальных предпринимателей, граждан информацией о состоянии окружающей среды.

На основании этого, разрабатываемая Система должна включать следующие подсистемы:

- сбора данных экологического мониторинга и метеорологических данных;
- информационно-расчетную;
- администрирования, аутентификации и авторизации;
- обработки пространственных данных и взаимодействия с РГИС;
- оперативно-управленческих процессов;
- формирования интерфейса пользователя.

Функциональная архитектура разрабатываемой Системы представлена на рис. 1.

На рис. 1 оранжевым цветом обозначены информационные связи между подсистемами. Весь информационный обмен между подсистемами осуществляется через единую базу данных. Связи между подсистемами и базой данных представлены на рисунке тонкими черными линиями.

Подсистема сбора данных экологического мониторинга и метеорологических данных предназначена для сбора и хранения результатов фиксации метеопараметров температуры, влажности воздуха, атмосферного давления, силы и направления ветра и концентрации загрязняющих веществ, включая концентрацию взвешенных частиц.

Подсистема должна обеспечивать выполнение следующих функций:

— прием данных от датчиков не менее 3 различных производителей, (включая передвижную лабораторию и автоматические станции АСКЗА), по протоколам TCP/IP, FTP (с помощью передачи файла формата csv с данными), HTTP либо HTTPS (в зависимости от вида датчика и поддерживаемых датчиками протоколов будет применяться тот или иной протокол передачи данных для организации приема данных с датчиками этого вида);

— автоматизированный прием данных от передвижной лаборатории или посредством ручного ввода в интерфейсе подсистемы;

— обеспечение выгрузки данных экологического мониторинга в виде файла в формате .csv (для последующего анализа в других системах, при наличии такой необходимости);

— проверка принимаемых данных на корректность формата данных и диапазона значений;

— отображение перечня датчиков в подсистеме для навигации и выбора датчика;

— визуализация данных, полученных от датчиков, автоматических станций АСКЗА и передвижных лабораторий в виде графиков, отражающих изменения контролируемых параметров во времени;

— обработка и запись принятых данных в базу данных;

— ведение протокола своей работы, включая поступление данных экологического мониторинга с датчиков и наступление событий для оповещений;

— мониторинг технического состояния датчиков, включающий в себя один или несколько видов

мониторинга из перечисленных: контроль наличия электропитания, уровня заряда аккумуляторной батареи, данных самодиагностики датчиков, выхода значений данных экологического мониторинга за заранее заданные при калибровке пределы, реакции датчиков на автоматическое включение генератора чистого воздуха (при наличии таких возможностей в датчиках), а также оповещение оператора о нарушении работоспособности датчиков;

— сбор, хранение и первичная обработка данных экологического мониторинга в соответствии с ГОСТ 17.2.3.01–86 «Охрана природы. Атмосфера. Правила контроля качества воздуха населенных пунктов»;

— формирование подписки на оповещения по электронной почте и определение событий для оповещений, включая превышение ПДК загрязняющих веществ и нарушение работоспособности датчиков;

— передача сигнала о событии в подсистему обработки пространственных данных и взаимодействия с РГИС;

— проведение оповещений пользователей по электронной почте на основании сформированной подписки в течение 30 минут с момента наступления события;

— настройка автоматических действий, выполняемых при наступлении событий.

В состав подсистемы сбора может включаться (полностью или частично) стороннее программное обеспечение от производителей датчиков, позволяющее осуществлять сбор данных и/или технический контроль датчиков. При использовании данного программного обеспечения допускается его настройка, адаптация, изменение и доработка.

Информационно-расчетная подсистема предназначена для статистического анализа данных экологического мониторинга и метеоро-

логических данных, а также предоставление регламентной аналитической отчетности и должна обеспечивать выполнение следующих функций:

— предоставление регламентной аналитической отчетности на основании первичной информации, которая хранится в Подсистеме сбора данных экомониторинга и метеоданных;

— расчет показателя «Индекс качества воздуха»;

— построение трендов изменения «Индекса качества воздуха» на основе исторических данных;

— построение зависимостей данных по показателям, представленным в *табл.*;

— сопоставление данных экомониторинга и метеоданных;

— расчет показателя «Качество окружающей среды».

Предоставление регламентной аналитической отчетности на основании первичной информации, которая хранится в Подсистеме сбора данных экомониторинга и метеоданных должно осуществляться на основе аналитической обработки данных [4,5].

В подсистеме должны быть разработаны следующие регламентные аналитические отчеты:

— рейтинг муниципальных образований по качеству воздуха;

— тренд индекса качества атмосферного воздуха;

— динамика изменения показателя «Качество окружающей среды»;

— наиболее часто фиксируемый газ в Московской области, превышающий ПДК;

— отчет о загрязнении окружающей среды для публикации на РГИС.

Аналитические отчеты должны представлять информацию в табличном или графическом виде (в виде диаграмм и графиков). Аналитические отчеты должны выгружаться из подсистемы в откры-

Таблица

Границы уровней концентрации для расчета индекса качества воздуха

H_2S (ppm)	$PM_{2.5}$ ($\mu g / m^3$)	PM_{10} ($\mu g / m^3$)	CO (ppm)	SO_2 (ppb)	NO_2 (ppb)	AQI	
CB — CH	CB — CH	CB — CH	CB — CH	CB — CH	CB — CH	ИКВВ — ИКВН	Значения (цвет маркера)
0–0.008 (1-ч)	0.0–12.0 (24-ч)	0–54 (24-ч)	0.0–5 (8-ч)	0–0.5 (1-ч)	0–0.2 (1-ч)	0–50	Хорошее (зеленый)
0.008–0.024 (1-ч)	12.1–35.4 (24-ч)	55–154 (24-ч)	5–15 (8-ч)	0.55–1.3 (1-ч)	0.25–0.6 (1-ч)	51–100	Удовлетворительное (желтый)
0.025–0.056 (1-ч)	35.5–55.4 (24-ч)	155–254 (24-ч)	15–20 (8-ч)	1.4–2.0 (1-ч)	0.65–1.0 (1-ч)	101–150	Опасное для отдельных групп населения (оранжевый)
0.057–0.09 (1-ч)	55.5–150.4 (24-ч)	255–354 (24-ч)	20.5–30 (8-ч)	2.5–3.5 (1-ч)	1.2–2.0 (1-ч)	151–200	Опасное (красный)
0.091–0.18 (1-ч)	150.5–250.4 (24-ч)	355–424 (24-ч)	15.5–30.4 (8-ч)	3.5–10.0 (24-ч)	2.1–3.0 (1-ч)	201–300	Очень опасное (бордовый)
0.0181–0.0237 (1-ч)	250.5–350.4 (24-ч)	425–504 (24-ч)	30.5–40.4 (8-ч)	10.5–15.0 (24-ч)	3.5–5.0 (1-ч)	301–400	Катастрофическое (коричневый)
0.02371–0.0305 (1-ч)	350.5–500.4 (24-ч)	505–604 (24-ч)	40.5–50.4 (8-ч)	15.5–25 (24-ч)	5.5–7.0 (1-ч)	401–500	

тых структурированных форматах (Office Open XML и OpenDocument Format) и Portable Document Format (pdf). Отчеты также могут представляться в формате БД для передачи через единую БД на подготовку и публикацию в подсистему подготовки пространственных данных и взаимодействия с РГИС.

Расчет показателя «Качество окружающей среды» (только в отношении атмосферного воздуха) должен осуществляться в рамках расчета показателей эффективности деятельности высших должностных лиц (руководителей высших исполнительных органов государственной власти) субъектов РФ и деятельности органов исполнительной власти субъектов РФ согласно Постановлению Правительства РФ от 17 июля 2019 г. № 915, утвердившем методики расчета показателей эффективности деятельности высших должностных лиц (руководителей высших исполнительных органов государственной власти) субъектов РФ и деятельности органов исполнительной власти субъектов РФ. Результаты расчёта должны сохраняться в базе данных и использоваться для формирования отчета по динамике изменения показателя «Качество окружающей среды».

Для расчета индекса качества воздуха (далее — ИКВ) необходимо определить содержание (концентрацию), усредненную по времени для каждого газа и частиц. Усреднение производится за временной отрезок согласно табл. Далее необходимо определить ИКВ для каждого из газов и частиц по формуле:

$$\text{ИКВ} = \frac{(\text{ИКВВ} - \text{ИКВН})}{\text{СВ} - \text{СН}} * (\text{С} - \text{СН}) + \text{ИКВН},$$

где: ИКВ — индекс качества воздуха; С — концентрация загрязнителя; СВ — верхняя граница диапазона, в который попадает концентрация загрязнителя согласно табл.; СН — нижняя граница диапазона, в который попадает концентрация загрязнителя согласно табл.; ИКВВ — верхняя граница диапазона, в который попадает концентрация загрязнителя согласно табл.; ИКВН — нижняя граница диапазона, в который попадает концентрация загрязнителя согласно табл.

Совокупный ИКВ для точки будет равен наибольшему значению ИКВ по отдельным газам и частицам.

Подсистема администрирования, аутентификации и авторизации предназначена для управления и настройки Системы, администрирования параметров и контроля работоспособности и должна обеспечивать выполнение следующих функций:

- управление пользователями и их правами;
- управление настройкам Системы;
- управление справочниками;
- управление регламентными процедурами;
- просмотр системных журналов.

В подсистеме должно поддерживаться ведение реестра пользователей; присвоение ролей пользо-

вателям; настройка прав доступа пользователей; ведение справочников; настройка пользовательского интерфейса; настройка резервного копирования базы данных; просмотр системных журналов.

Требования к аутентификации и авторизации пользователей:

- подсистема должна предоставлять пользователям возможность осуществлять авторизованный доступ и дальнейшую работу;

- аутентификация пользователей производится с использованием пары «логин» — «пароль» (логин — e-mail пользователя).

Инструменты журналирования должны обеспечивать ведение и визуализацию системных журналов (логов) событий, в которых должны автоматически фиксироваться:

- вход и выход пользователей из Системы;
- выполнение процедур публикации данных;
- выполнение процедур сбора данных;
- запуск и выполнение оперативно-управленческих процессов;

- возникающие нештатные ситуации и ошибки.

Данные системные журналы должны позволять сохранять набор информации, необходимой для идентификации и решения проблемы.

Подсистема обработки пространственных данных и взаимодействия с РГИС предназначена для формирования массивов данных по экологическому мониторингу окружающей среды Московской области в форматах, используемых в РГИС и отправки (публикации) этих данных в РГИС.

Подсистема должна обеспечивать выполнение следующих функций:

- настройка автоматического преобразования данных по экомониторингу в формат РГИС;
- автоматическая выборка данных из БД для отправки в РГИС на основе подготовленных аналитических отчетов;
- преобразование данных в массив для отправки в РГИС;

- согласование пользователя Системы на передачу массива данных в РГИС (в случае необходимости);

- отправка массивов данных в РГИС в автоматическом режиме;

- отправка массивов данных по объектам, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду Московской области в РГИС в автоматическом режиме.

Настройка автоматического преобразования данных по экологическому мониторингу в формат РГИС должна осуществляться путем указания полей аналитического отчета и полей файла для отправки данных в РГИС. Также в настройке автоматического преобразования данных необходимо предусмотреть возможность указания временного интервала или события, при котором автоматически будет запускаться процедура преобразования и отправки данных в ГИС.

Автоматическая выборка данных из БД для отправки в РГИС на основе подготовленных аналитических отчетов должна осуществляться при запуске процедуры преобразования данных. Шаблоны отчетов для каждой из категорий потребителей информации создает ГКУ МО «Мособлэкомониторинг» или Министерства экологии и природопользования МО. Отчеты формируются в Информационно-расчетной подсистеме автоматически по заранее созданному шаблону.

Преобразование данных в массив для отправки в РГИС для различных категорий потребителей информации осуществляется автоматически после запуска процедуры преобразования и отправки данных в РГИС и успешной выборки данных из БД.

Отправка полученных массивов данных в РГИС должна осуществляться в автоматическом режиме в соответствии с настройками подсистемы.

Способ передачи данных в РГИС и получения электронной карты РГИС REST сервис или SOAP сервис. Формат данных для передачи в РГИС и способы организации информационного взаимодействия согласуются на этапе Технического проектирования.

Подсистема оперативно-управленческих процессов экологической деятельности предназначена для автоматизации процессов деятельности ГКУ МО «Мособлэкомониторинг» в части мониторинга и оперативного реагирования на факты загрязнения окружающей среды. Подсистема должна обеспечивать автоматизацию следующих процессов:

- обнаружение факта превышения ПДК загрязняющих веществ в результате анализа первичных данных от датчиков;
- прием и обработка обращений по вопросам экологического мониторинга;
- обработка результатов измерений плановой работы передвижной лаборатории;
- предоставление данных по объекту мониторинга по запросу.

Подсистема формирования интерфейса пользователя предназначена для отражения в пользовательском интерфейсе информации из подсистем Системы, включая данные экологического мониторинга, регламентную отчетность, визуальные формы оперативно-управленческих процессов, а также для управления функционалом администрирования, аутентификации и авторизации в Системе.

Для использования функционала Системы в подсистеме формирования интерфейса пользователя должны быть реализованы следующие интерфейсы пользователя:

- для подсистемы сбора данных экомониторинга и метеоданных — выбор источников информации и контролируемых параметров, запуск процедуры сбора данных, настройка параметров сбора данных и подписки на оповещения, просмотр системного журнала сбора данных;

- для информационно-расчетной подсистемы — выбор отчета, ввод входных параметров для формирования отчетов, расчета индекса качества воздуха и показателя «Качество окружающей среды», запуск процедур формирования отчетов и экспорта отчетов в файлы;

- для подсистемы администрирования, аутентификации и авторизации — выбор системных журналов для просмотра, выбор справочников, выбор пользователей, ролей и прав доступа, настройка интерфейса пользователя;

- для подсистемы обработки пространственных данных и взаимодействия с РГИС — запуск процедуры опубликования, настройка формирования массивов данных для передачи в РГИС, просмотр системного журнала опубликования данных;

- с подсистемой оперативно-управленческих процессов — ввод данных в поля визуальных форм, действия в рамках исполнения процессов, просмотр реестра инцидентов.

Литература

1. Роева Н.Н., Воронич С.С., Доос К.М., Хлопаев А.Г., Зайцева И.А. Экологические проблемы и климатические особенности и изменения в Московской области: анализ, прогноз и практические рекомендации. — М.: Франтера, 2024. — 188 с.
2. Экология и безопасность жизнедеятельности: учеб. пособие для вузов / Д.А. Кривошеин, Л.А. Муравей, Н.Н. Роева и др.; под ред. Л.А. Муравья. — М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2000. — 447 с.
3. Воронич С.С. Мониторинг атмосферных загрязнений урбанизированных территорий. — М.: Наука, 2013. — 127 с.
4. Бюллетень загрязнения окружающей среды Московского региона за 2023 г. URL: <http://ecomos.ru/Assorti/sostojanieZagrOSgod.pdf>
5. Информационный сборник о состоянии окружающей природной среды Подмосковья в 2022 г. // URL: <https://mep.mosreg.ru/download/document>

Сведения об авторах

Воронич Сергей Сергеевич, к.т.н., руководитель аналитической лаборатории ГКУ МО «Мособлэкомониторинг», г. Красногорск, Московская область; e-mail: s-v80@mail.ru.

Хлопаев Александр Геннадьевич, Российский биотехнологический университет, аспирант.

Зайцев Денис Андреевич, Российский биотехнологический университет, аспирант.

Хусаинов Ильяс Ринатович, Российский биотехнологический университет, аспирант.

Воронич Наталья Сергеевна, Российский биотехнологический университет, аспирант.

Дифференцированный анализ химических форм хрома в водных экосистемах

Н.Н. Роева, д.х.н., проф., И.А. Зайцева, Д.Р. Буздаков, Н.А. Жиганов
Российский биотехнологический университет, г. Москва

В статье представлены результаты определения химических форм хрома в природных водах Калужской и Московской областей. В качестве базового метода анализа применен атомно-абсорбционный метод с беспламенной атомизацией. Предел обнаружения хрома составил 0,005 Сг/мл. Разработана схема разделения 3-х химических форм хрома (неорганических и органических соединений шестивалентного и трехвалентного хрома).

Ключевые слова: водные экосистемы, хром, химические формы, дифференцированный анализ, атомно-абсорбционный метод с беспламенной атомизацией.

Введение

Хром с точки зрения экоаналитического контроля включен в список нормируемых химических элементов и согласно Международной программе по химической безопасности относится к числу микроэлементов, определяющих гигиенические критерии состояния объектов окружающей среды [1]. Исключением не являются и природные воды. Высокая миграционная способность хрома обусловлена наличием в них химически активных форм этого элемента (элементарного хрома, Cr (II), Cr (III), Cr (IV), наиболее активными из которых являются соединения Cr (III) и Cr (VI) [2].

Установлено, что в исследуемых природных водах доминирующей химической формой являются соединения Cr (VI), активно участвующие в миграции этого элемента, содержание которых составило от 60 до 90% от общего содержания хрома. Содержание соединений Cr (III) было менее значительным (9–28%). Вклад взвешенных форм хрома в миграционный процесс составил 1–12% [3].

Учитывая существенные различия в биодоступности и токсичности шестивалентного и трёхвалентного хрома, чрезвычайно важным представляется дифференцированный анализ отдельных форм хрома.

В настоящее время в аналитической практике для определения хрома в поверхностных водах применяют в основном физико-химические методы, позволяющие определять только валовое содержание этого элемента [4]. Однако, для определения истинного индекса загрязнения водной экосистемы хромом недостаточно определения только валового содержания этого элемента. Важным и актуальным представляется разработка комбинированных аналитических методов, сочетающих выделение лабильных (т.е. химически активных) форм хрома и последующее высокочувствительное их определение.

Содержательная часть

Цель работы: состояла в определении лабильных форм хрома в природных водах Калужской и Московской областей.

В качестве базового метода анализа — нами был применен атомно-абсорбционный метод с беспламенной атомизацией. Измерение концентрационных уровней содержания хрома в природных водах проводили на атомно-абсорбционном спектрофотометре фирмы «Grün».

Условия атомно-абсорбционного определения хрома в водных экосистемах:

- ток на лампу — 7,5 ма;
- длина волны — 357,9 нм;
- щель — 1,3 нм;
- газ-носитель-аргон — 200 мл/мин.

Программа графитового атомизатора представлена в *табл. 1*.

Таблица 1

Программа графитового атомизатора

	Temp	°C	Time (sec)
Dry	80	120	30.0
Ash	600	600	30.0
Atom.	2500	2500	7.0
Clean	2700	2700	3.0

Предел обнаружения хрома составил 0,005 мкг/мл.

Разработана схема разделения 3-х форм хрома в природных водах (*рис.*).

Для атомно-абсорбционного определения хрома применялся стандартный эталонный раствор ГСОМ-18 — для Cr (*табл. 2*) с концентрацией элементов в них, равной 500 мкг/мл, а также рабочие стандартные растворы хрома, приготовленные из стандартных эталонных растворов.

Таблица 2

Индекс образца	Элементный состав, мг / мл			
	Мышьяк	Бор	Хром	Ванадий
ГСОМ-18	0,500	0,500	0,500	0,500

В *табл. 3* представлены результаты определения неорганических и органических соединений шестивалентного и трехвалентного хрома в водных экосистемах.

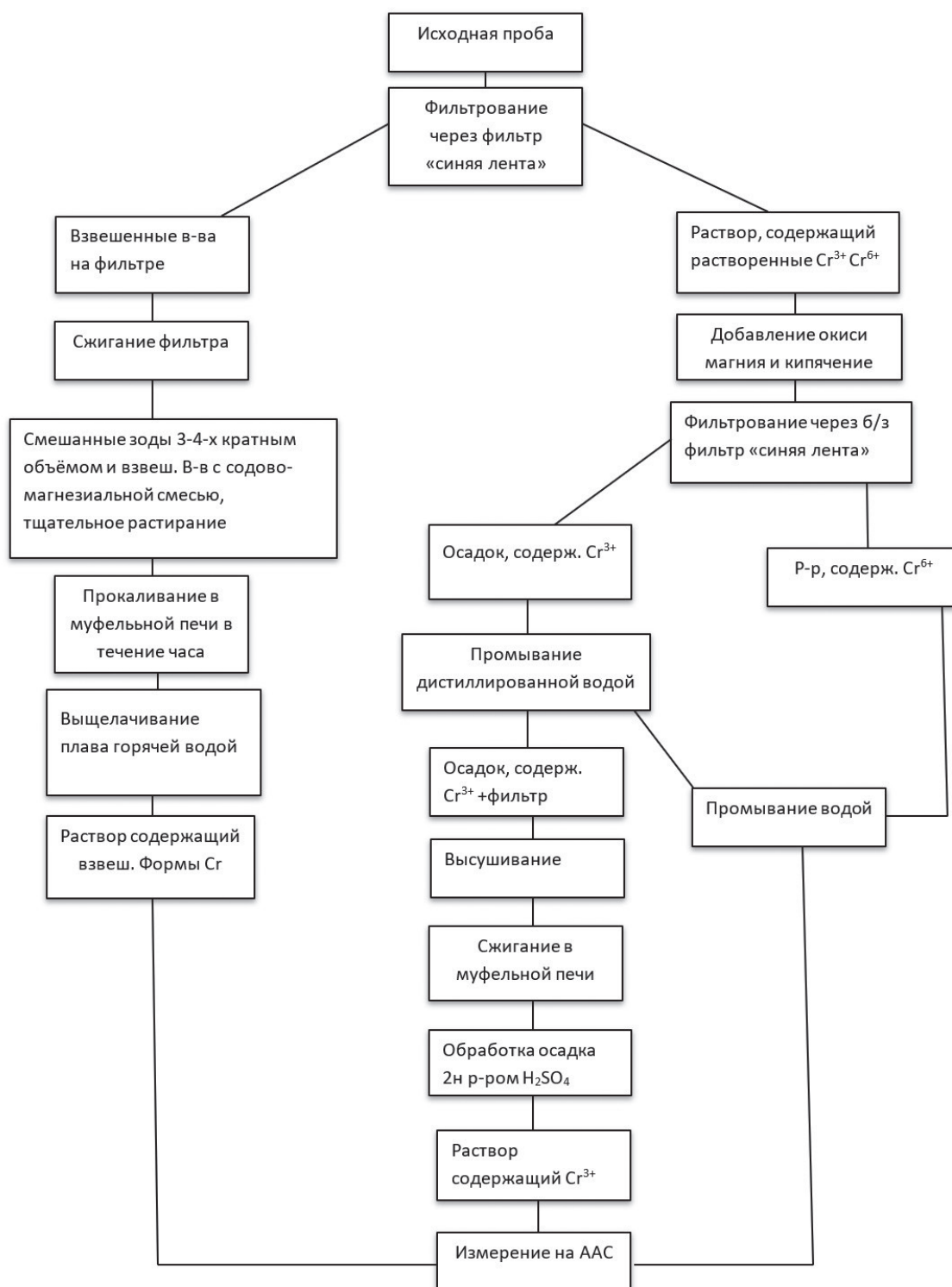


Рис. Схема разделения химических форм хрома в природных водах

Таблица 3

Содержание лабильных форм хрома в природных водах Калужской и Московской областей

Объект пробоотбора	Содержание хрома, мкг / л			Формы хрома, в % от суммарного содержания	
	Cr ⁺⁶	Cr ⁺³	ΣCr	Cr ⁺⁶	Cr ⁺³
р. Ока	1,8	1	2,8	64	11
р. Москва	24,9	1,6	4,0	72	28
р. Протва	0,9	0,5	1,4	60	40
р. Жиздра	2,4	3	27,9	89	36
р. Болва	0,6	0,3	0,9	74	26

Выводы

Проведенный нами гидромониторинг показал, что наибольшие концентрации химических форм хрома наблюдались в р. Москве, а наименьшие — в р. Болве.

Доминирующими миграционными формами

хрома в исследуемых экосистемах являются соединения шестивалентного хрома.

Литература

1. Еделев Д. А., Гребёнкин Н. Н., Баранов А. Н., Роева Н. Н. Основы экологии и экотоксикологии. — Рязань: Изд-во «РИД», 2013. — 160 с.
2. Роева Н. Н., Мешалкин А. В., Кривов С. И. Геохимия и геофизика биосферы. — Калуга: Изд-во «Эйдос», 2010. — 560 с.
3. Роева Н. Н., Куликова Н. Е., Чернобровина А. Г., Зайцева И. А. Определение химических форм хрома в природных водах // В сб. Международной научно-практ. конф. «Тенденции и проблемы развития современной науки». — Петрозаводск, 2023. — С. 274–280.
4. Воронич С. С., Роева Н. Н., Куликова Н. Е., Чернобровина А. Г., Кольцова Е. Г. Особенности применения аналитических методик в экологическом мониторинге объектов окружающей среды // В сб. тезисов XIII Всероссийской конф. по анализу объектов окружающей среды «Экоаналитика — 2025». — СПб, 2025. — С. 128.

Сведения об авторах:

Роева Наталья Николаевна, д.х.н., проф., завкафедрой «Химия и экотоксикология», ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет», г. Москва; e-mail: roeva@mgurp.ru.

Зайцева Ирина Андреевна, аспирант Российского биотехнологического университета.

Будзаков Даниил Романович, аспирант Российского биотехнологического университета.

Жиганов Никита Александрович, студент Российского биотехнологического университета.

Короткие сообщения**Итоговая Коллегия Росприроднадзора**

5 июня руководитель Росприроднадзора Светлана Радионова провела расширенную Коллегию, посвященную итогам работы в 2024 году и задачам на текущий год с участием вице-премьера Дмитрия Патрушева и главы Минприроды России Александра Козлова.

«Экология — это про ответственность. Сегодня, завтра, всегда, — подчеркнула Светлана Радионова. — За последние годы в экологической повестке России произошёл настоящий сдвиг. Катастрофа в Норильске в 2020-м стала поворотным моментом. После этого был чётко обозначен принцип: «загрязнитель платит». И он работает».

В своём выступлении Дмитрий Патрушев отметил успехи Роспотребнадзора в 2024 г. и обозначил задачи на текущий год. «Наша страна последовательно движется по пути достижения экологического благополучия. Именно Росприроднадзору в этом масштабном процессе государством доверена ответственная роль верификатора качества мероприятий, реализуемых в рамках одноимённого национального проекта. Это касается контроля за очисткой сточных вод, ликвидацией накопленного вреда, а также за уровнем загрязнения воздуха и за другими направлениями работы. Во всех этих сферах выстроена рациональная система надзора, которая в целом позволяет выявлять и справедливо пресекать экологические нарушения», — подчеркнул Дмитрий Патрушев.

Вице-премьер отметил, что в 2024 году деятельность Службы обеспечила почти 32,5 млрд рублей поступлений в консолидированный бюджет, что на 30% больше прогнозных ожиданий. Основной объём этих средств направляется на экологические программы в региональные бюджеты.

С 2020 по 2025 год количество услуг, предоставляемых в цифровом виде, выросло в 16 раз и теперь охватывает весь их спектр. По мнению Дмитрия Патрушева цифровизация поможет расширить систему дистанционного контроля, что в свою очередь повысит мобильность Росприроднадзора и количество проведённых мероприятий.

Александр Козлов отметил, что в обществе растёт запрос на здоровую экологию и сотрудники Росприроднадзора играют важную роль в формировании экологического движения в стране.

Аграрный центр МГУ



АГРОРЕСУРСЫ И ПРОДОВОЛЬСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ



Продовольственная безопасность

EDN LRKCHD

УДК 631.1

Продовольственная безопасность в условиях изменения климата и основы государственной аграрной политики

*Д. М. Хомяков, к.б.н., д.т.н., проф.,
Факультет почвоведения МГУ имени М. В. Ломоносова*

Президент РФ 10.03.2025 подписал Указ № 141 о расширении Доктрины продовольственной безопасности в части поддержания стабильности мировых продовольственных рынков. Перед АПК стоят стратегические задачи: увеличение производства продукции АПК на 25%, рост экспорта в 1,5 раза относительно 2021 года и обеспечение технологической независимости. Эти направления закреплены в Указе Президента РФ от 07.05.2024 № 309 о национальных целях до 2030 года и должны реализовываться с учетом обязательств по достижению углеродной нейтральности. Для этого должна быть сформирована эффективная государственная аграрная политика, учитывающая: тенденции изменения климата, наличие инновационных технологий, необходимость повышения устойчивости агропроизводства, обеспечивающая снижение эмиссии парниковых газов, возможность привлечения финансирования для реализации климатических проектов, сохранение и воспроизводство плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения и т.д.

Ключевые слова: изменение климата, аграрная политика, АПК, продовольственная безопасность, устойчивое развитие, почвенные ресурсы, земли сельскохозяйственного назначения.

Введение

Продовольственная безопасность является одним из главных направлений обеспечения национальной безопасности и устойчивого развития страны в долгосрочном периоде. Указом Президента РФ от 21.01.2020 № 20 утверждена Доктрина продовольственной безопасности РФ (далее — Доктрина). Распоряжением Правительства РФ от 09.06.2020 № 1516-р утвержден план мероприятий («дорожная карта») по реализации положений Доктрины. Устойчивое развитие АПК является ключевым фактором ее обеспечения [1–3].

За десять лет, с 2014 года, с момента введения продовольственного эмбарго в отношении, принявших антироссийские санкции государств, активизировались процессы импортозамещения, производство выросло на 33%. Тепличное овощеводство выросло в 3 раза, в 4,5 раза производится больше сои, в 2 раза выросли объемы производства подсолнечника. Площадь виноградников увеличилась на 63%. Аналогичная ситуация в животноводстве — за 10 лет на 35% увеличено

производство скота и птицы, на 13% производство молока, построено и модернизировано 3400 животноводческих комплексов. Производство в пищевой промышленности выросло в целом на 40%. При этом в 2,5 раза выросло производство растительного масла и в 2 раза — мясной продукции [1–3]. Примерами импортозамещающего роста стали виноделие, сыроделие и консервная промышленность.

Российская сельхозпродукция и продовольствие поставляются в 160 стран мира. По итогам 2023 г. выручка от агроэкспорта составила \$43,1 млрд против \$17,0 млрд в 2013 году. С 2020 г. РФ из нетто-импортера продовольствия превратилась в его нетто-экспортера, став одним из ведущих игроков на мировом рынке продовольствия, заняв достойное место среди ведущих аграрных держав мира. Сейчас доля РФ в мировой торговле зерном пшеницы мягких сортов колеблется от 21 до 25% и выше.

Являясь отраслью подверженной проявлению рыночных (экономических) и нерыночных (при-

родных) рисков, АПК в большой степени зависит от агрометеорологических условий, от слабо предсказуемых стихийных проявлений, а так же от глобальных процессов, связанных с изменением климата. Специфика страны определяется масштабами территории. В ее состав 89 субъектов РФ. В соответствии с данными федеральной статотчетности площадь земельного фонда на 01.01.2024 года составила 1 723 399,1 тыс. га без учета внутренних морских вод и территориального моря. Сведения по субъектам представлены для 87 регионов без учета Запорожской и Херсонской областей.

На 01.01.2024 площадь земель сельхозназначения составила 374 967,5 тыс. га. В их структуре площадь несельскохозяйственных угодий — 174 302,2 тыс. га. Ими являются земли под зданиями, сооружениями, внутрихозяйственными дорогами, лесными насаждениями, поверхностными водными объектами, а также земельными участками, предназначенными для обслуживания агропроизводства. Земли, предоставленные для северного оленеводства, в составе земель сельхозназначения — 101 418,2 тыс. га.

Площадь сельхозугодий в составе категории земель сельхозназначения составила 200 665,3 тыс. га, из них пашня занимает 118 605,4 тыс. га. Следовательно, почвенные ресурсы, задействованные в агропроизводстве, насчитывают порядка 200 млн га или 11,6% от общей площади страны [4].

В распоряжение Правительства РФ от 28.12.2024 № 4146-р «Об утверждении Стратегии пространственного развития Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозом до 2036 года» указано, что с 2019 г. в РФ формируется система адаптации к изменению климата, включающая соответствующие национальные, отраслевые и региональные планы.

Отмечено, что изменение климата сопряжено с последствиями для антропогенных и естественных систем, несет риски обеспечения безопасности и устойчивого развития. Выявлены изменения агроклиматических характеристик сельскохозяйственных культур, рост частоты и продолжительности жары, снижение несущей способности многолетнемерзлых пород и другие изменения климатических характеристик. На наш взгляд, это должно учитываться при выработке и реализации государственной агрополитики.

Методология проведения работы заключается в сборе, обобщении, анализе и оценке аналитических и теоретических исследований, а также нормативных правовых актов и методических документов, регулирующих вопросы состояния АПК РФ, проявления глобальных изменений климата, а так же предлагаемых адаптационных мероприятий, обеспечивающих устойчивое развитие. В исследовании применялся сравнительный анализ, статистические и общенаучные методы.

Результаты исследований

Роль РФ в обеспечении глобальной продовольственной безопасности. Указ Президента РФ от 10.03.2025 № 141 «О внесении изменений в Доктрину продовольственной безопасности Российской Федерации» предусматривает поддержание стабильности мировых продовольственных рынков на многосторонней и двусторонней основе, в первую очередь путем сотрудничества с государствами, проводящими конструктивную политику в отношении РФ.

Основными задачами обеспечения глобальной продовольственной безопасности являются:

а) развитие внутреннего производства сельхозпродукции, сырья, продовольствия, минеральных удобрений в целях обеспечения и наращивания экспортного потенциала РФ;

б) создание благоприятных внешних условий для поддержания и поступательного развития на основе взаимной выгоды и равноправия международных торгово-экономических, транспортно-логистических и финансовых связей;

в) оказание гуманитарной помощи, в первую очередь продовольственной, нуждающимся иностранным государствам;

г) укрепление взаимодействия с иностранными государствами и международными организациями в целях реализации совместных проектов и программ с использованием в том числе российской сельхозпродукции, сырья, продовольствия, минудобрений и иных материально-технических ресурсов;

д) наращивание международного научно-промышленного сотрудничества, включая обмен передовым опытом, в области сельского хозяйства, в т.ч. в целях развития производства (воспроизводства) сельхозпродукции, сырья, продовольствия, племенной продукции и семян основных сельскохозяйственных культур;

е) мониторинг направлений трансформации мировых продовольственных рынков в процессе стратегического планирования развития отечественного сельского и рыбного хозяйства;

ж) развитие новых рынков сбыта сельхозпродукции и продовольствия, поиск новых торговых партнеров;

з) диверсификация экспорта сельхозпродукции, сырья и продовольствия в целях расширения номенклатуры товаров, обладающих конкурентными преимуществами, повышение конкурентоспособности экспортируемых товаров, увеличение объема экспорта продукции с высокой добавленной стоимостью;

и) разработка мер по расширению экспортной деятельности сельхозтоваропроизводителей, в том числе субъектов малого предпринимательства;

к) развитие безопасной и устойчивой к экономическим воздействиям со стороны недружественных иностранных государств экспортной инфраструкту-

ры, включая сопряжение отечественных платежных систем с платежными системами дружественных иностранных государств, заключение двусторонних межправительственных соглашений о торгово-экономическом сотрудничестве, совершенствование системы страхования перевозок, развитие национальной транспортно-логистической сети и ее интеграция в систему международных транспортных коридоров.

Так же в нем указывается на необходимость расширения взаимодействия по вопросам продовольственной безопасности в рамках Союзного государства, ЕАЭС, СНГ, БРИКС и др. межгосударственных объединений. В области внешнеэкономической политики требуется обеспечить достижение Повестки дня в области устойчивого развития, принятой Генассамблеей ООН 25.09.2015.

Стратегическое направление — наращивание производства сельхозпродукции, сырья и продовольствия, соответствующих установленным экологическим, санитарно-эпидемиологическим, ветеринарным и иным требованиям, для преодоления отрицательного сальдо внешней торговли и формирования экспортного потенциала. Так же предписано осуществлять диверсификацию иностранных поставщиков в целях недопущения критической зависимости российской экономики от отдельного экспортера (экспортеров).

В 2023 году объем экспорта продовольственных товаров и сельскохозяйственного сырья (кроме текстильного) РФ составил более 43,1 млрд долл. США (+4,3% год к году). В его структуре около 38% приходилось на зерно. Импорт превысил 35,1 млрд долл. (-1,7%).

По данным Федеральной таможенной службы (ФТС) объемы внешней торговли за 2024 год составили \$716,9 млрд. Россия увеличила экспорт всех товаров, кроме сельскохозяйственного сырья и продовольствия. Российский экспорт в прошлом году составил \$433,9 млрд против \$425,3 млрд в 2023-м. В импорте России за 2024 год категория сельхозпродукции и продовольствия также занимает третье место — \$37,7 млрд, что на 7% выше показателя предыдущего года. Несмотря на рост импорта, наша страна остается нетто-экспортером продовольствия. Хотя сальдо в 2024 году составило всего \$4,9 млрд против \$8,0 в 2023 г. Объем агроэкспорта в 2024 году снизился до \$42,6 млрд.

Есть некоторое различие в оценках. Например, по данным Федерального центра «Агроэкспорт» этот показатель в 2023 г. достиг \$43,5 млрд, а не \$43,1 млрд по данным ФТС. Минсельхоз России так же приводит цифру \$43,5 млрд и ожидал ее повторение в 2024 г. [5].

Важно не допустить дальнейшего развития тенденции по снижению российского агроэкспорта в стоимостном выражении на фоне увеличения физической массы вывозимой продукции, достигшей 109 млн тонн. В 2024 г. средняя цена 1 т данной продукции составила всего \$390.

Доля зерновых культур в экспорте продукции российского АПК в 2024 году (в стоимостном показателе) составила 37% [6]. Далее следуют: масложировая продукция (20%), прочая продукция АПК, к которой относятся, в частности, зернобобовые и некоторые масличные культуры (14%), продукция пищевой и перерабатывающей промышленности (12%), рыба и морепродукты (11%), мясная и молочная продукция (5,2%). По сравнению с 2023 г. наибольший рост экспортной выручки отмечен по мясной и молочной продукции (+23%) и продукции пищевой и перерабатывающей промышленности (+6%)

В России осуществляется тарифное и нетарифное регулирование внешнеторговой деятельности. Квотировать экспорт зерна начали в 2020 году. Ограничения были введены с 01.04 по 30.06 и составили 7 млн тонн. С 15.02 по 30.06.2021 г. действовала новая квота, ее объем составил 17,5 млн тонн. В конце 2021 г. правительство приняло решение о том, что квота будет ежегодной со сроком действия с 15.02 по 30.06. В 2022 году ее размер составлял 11 млн тонн, в т.ч. 8 млн тонн пшеницы. В 2023 году — 25,5 млн тонн без разделения на виды зерна. Квота на 2024 год составляла 29 млн тонн (сначала была утверждена в 24 млн т, затем было принято решение о дополнительной квоте в 5 млн т), она также не предусматривала видового разделения зерна.

С 2024 года в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 31.12.2021 № 2595 (ред. от 18.12.2024) квота на экспорт зерна за пределы ЕАЭС разделяется на основную и дополнительную части. В прошлом году РФ экспортировала 72,2 млн тонн зерна, в т.ч. 54,1 млн тонн пшеницы. Минсельхоз России дал прогноз экспортного потенциала по зерну в текущем сельскохозяйственном году (СХГ) — 55–57 млн тонн (01.07.2024–30.06.2025). Прогноз по итогам СХГ — 42,2 млн т для зерна пшеницы (включая поставки в страны ЕАЭС). Это третий по величине результат после прошлого СХГ 2023/24, когда на внешние рынки было отправлено 55,5 млн т пшеницы и СХГ 2022/23 — 49,3 млн т зерна этой культуры.

Опыт 2024 года: анализ климатической ситуации и прогнозируемые тенденции. Согласно опубликованному 19.03.2025 докладу ВМО, в 2024 г. последствия антропогенного изменения климата достигли опасного уровня. Некоторые из них, вероятно, будут необратимыми в течение столетий, если не тысячелетий [7].

ВМО подтверждает, что 2024 год стал самым жарким годом с момента начала ведения наблюдений 175 лет назад. Глобальная средняя температура на 1,55°C превысила доиндустриальный уровень, впервые преодолев критический порог потепления в 1,5°C. Хотя один год выше критического порога не нарушает долгосрочные цели Парижского соглашения (среднее значение ниже

1,5°C), этот показатель говорит о срочной необходимости сокращения выбросов, предупреждают авторы доклада. Другие важные климатические показатели также установили новые рекорды. Концентрация углекислого газа в атмосфере находится на самом высоком уровне за последние 800 тысяч лет.

Тропические циклоны, наводнения, засухи и другие стихийные бедствия в прошлом году привели к самому высокому показателю перемещений населения за последние 16 лет. Это способствовало усугублению продовольственного кризиса на планете и привело к значительным экономическим потерям [7].

2024 год в России был в целом очень тёплым [8]. Среднегодовые температуры воздуха в среднем по РФ, ЕЧР, АЧР были на 1,21°C; 1,36°C; 1,16°C выше нормы — вторые величины в соответствующих рядах. Осредненные по всем федеральным округам аномалии температуры среди пяти самых крупных в соответствующих рядах.

Очень тепло было летом (на 0,97°C выше нормы — вторая величина с 1936 г.), особенно тепло в АЧР: 0,78°C — вторая величина в ряду (рекордно тепло в АЧР было в июле: +1,14°C).

Теплой была и осень (на 1,80°C выше нормы — третья величина с 1936 г.); очень тепло как в ЕЧР (аномалия +2,43°C — рекордное значение, особенно тепло в СЗФО и в ЦФО (+3,18°C и +2,18°C — максимальные величины). В АЧР (+1,57°C — ранг 4, особенно тепло в УФО (2,82°C — ранг 2). Сентябрь был рекордно тёплым в ЕЧР (аномалия +3,54°C), в ноябре очень тепло в АЧР (+3,36°C — ранг 3).

В целом по РФ зимняя аномалия температуры составила -0,31°C (ранг 33). Температуры ниже климатической нормы наблюдались в большей части ЕЧР (кроме юга), на юге СФО и в большей части ДФО. Температуры выше климатической нормы наблюдались на юге ЕЧР (в СКФО аномалия составила +2,39°C — ранг 4), в центре и на севере Западной и Средней Сибири.

Весенняя аномалия температуры составила: +0,84°C (ранг 12). Очень тепло в ЦФО (1,73°C — ранг 4), ЮФО (1,85°C — ранг 1) и СКФО (1,52°C — ранг 2), на большей части ДФО (1,75°C — ранг 5). Температуры ниже климатической нормы наблюдались на севере страны от востока Кольского полуострова и Тиманского кряжа (на западе) до Енисея (на востоке) (аномалии до 3°C), а также на Чукотке (аномалии до 1°C).

Современное потепление, начавшееся в 70-е годы XXI в., продолжается на всей территории России в целом за год и во все сезоны. Скорость роста осредненной по России среднегодовой температуры за период 1976–2023 гг. составила 0,50°C/10 лет (вклад в общую изменчивость 60%). Наиболее быстрый рост наблюдается весной (0,63°C/10 лет), но на фоне межгодовых колебаний тренд больше

всего выделяется летом (0,41°C/10 лет: описывает 71% суммарной дисперсии). Максимум летнего потепления отмечается на юге ЕЧР: (0,73°C/10 лет для ЮФО).

Минимум потепления в среднем за год отмечен на юге Сибири и на востоке Якутии, где зимой все еще наблюдается небольшая область убывания температуры. Летом и осенью рост температуры на юге Сибири (осенью также в центре) очень слаб.

Осадки в 2024 году в целом по России составили 101% нормы — величина во втором десятке ряда. Много осадков выпало в АЧР (106% нормы — ранг 4–6).

Осенью осадки по РФ ниже нормы (97%). Дефицит осадков наблюдался практически всюду в ЕЧР (82% нормы) и в УФО (84%). В ЕЧР дефицит особенно сильный в сентябре (38% нормы — минимальная величина в ряду), дефицит осадков наблюдался во всех ФО ЕЧР: в СЗФО (58%), ЦФО (17%), ПФО (13%) — минимальные величины в рядах с 1936 года; а в УФО — в октябре (65% — 5–6-ой самый «сухой» октябрь). Избыток осадков осенью наблюдался восточнее течения Оби, наиболее значительный в СФО (113% нормы — ранг 5).

На Северном Кавказе в 2024 году в среднем за год имел место дефицит осадков на всех станциях метеонаблюдений. Наибольший дефицит осадков отмечен весной и летом.

На территории РФ в целом преобладает тенденция к увеличению годовых сумм осадков: тренд за 1976–2024 годы составляет 1,8%/10 лет, вклад в дисперсию 36%. В ряде областей Сибири и Дальнего Востока тренд превышает 5%/10 лет.

Рост осадков наблюдается во все сезоны. Наиболее значительный рост сезонных сумм осадков в целом по территории России наблюдается весной (5,1%/10 лет, вклад в дисперсию 41%), увеличение осадков происходит практически повсеместно. Однако летом в центральных и южных регионах ЕЧР осадки убывают: в ПФО тренд -4,6% нормы в десятилетие, в ЦФО и ЮФО: -4,3% нормы в десятилетие.

В центре и на юге ЕЧР положительные аномалии суммы температур воздуха за период вегетации ($T > 5^\circ\text{C}$) от +460 до +510°C, самый напряжённый термический режим сложился в ЮФО — до +690°C. Менее напряжённый температурный режим сложился в АЧР — ~30–140°C. В УФО наблюдались отрицательные аномалии сумм активных температур воздуха (-97°C).

Количество выпавших осадков за период вегетации яровых зерновых культур в среднем по территории земледельческой зоны России было близко к норме, но значительно различалось по регионам. Благоприятные агроклиматические условия по увлажнённости наблюдались на АЧР, в УФО и СФО, где осадков выпало на 33 и 20% выше нормы соответственно. На всей территории

ЕЧР осадков выпало меньше среднемноголетних значений, аномалии составили от -11% в ЦФО до -36% в ЮФО.

Локальная почвенная засуха могла наблюдаться в ЮФО и СКФО в период с июня по август, то есть практически весь вегетационный период зерновых культур.

Биоклиматический потенциал (БКП) в 2024 г. оценивается в целом по земледельческой зоне на уровне среднего за 2019–2023 гг. (-1%), но при значительном различии по регионам. Максимальные положительные аномалии зафиксированы в УФО (+27%), а максимальные отрицательные – в ЮФО и СКФО -22 и -26% соответственно. В СЗФО, ПФО и СФО оценки БКП близки к среднему за предшествующие пять лет

По оценкам Росгидромета степень засушливости в земледельческой зоне растёт. За 1976–2024 годы оценки линейного тренда величин гидротермического коэффициент увлажнения по Г.Т. Селянинову (ГТК) за период с мая по август и радиационного индекса сухости по М.И. Будыко (ИС) за весь тёплый период года ($T > 5^{\circ}\text{C}$) составляют -0,03 ед. и 0,03 ед./10 лет, соответственно.

В основных зернопроизводящих регионах ЦФО и ПФО климатически обусловленная урожайность яровой пшеницы в среднем ниже уровня предшествующих 5 лет на 10%.

2024 год в России был аномальным по количеству опасных гидрометеорологических явлений (ОЯ). Количество ОЯ составило 1234 в целом по РФ и 493 нанесших значительный ущерб отраслям экономики и жизнедеятельности населения. В 2024 году было зарегистрировано случаев ОЯ и комплексов метеорологических явлений на 6% больше, чем в 2023 году.

Аномалии увлажнённости по показателю ГТК в 2024 году были преимущественно отрицательными на ЕЧР и положительными на АЧР. По сравнению с прошлым годом, в 2024 году увеличилось: количество очень сильных осадков на 19%; очень сильного ветра на 4%; сильной жары и аномально жаркой погоды на 24 %; сильного гололеда на 48%. Уменьшилось только количество случаев града на 17%, заморозков на 5%, метелей и аномально холодной погоды на 42%.

По-прежнему наибольший ущерб хозяйству страны нанесли очень сильные осадки (снег, дождь, ливень), очень сильный ветер, град, заморозки и чрезвычайная пожарная опасность. Заморозки на ЕЧР были столь частыми и сильными, что вновь, как и в 2023 году, погибли завязи плодовых и ягодных деревьев [9].

Выполненный в Гидрометцентре России анализ климатических данных и прогностических разработок НИУ Росгидромета и ВИП ГЗ «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ», позволяет с вероятностью 65–70% сделать вывод, что на большей части

территории России в апреле-сентябре 2025 года ожидается температурный режим около и выше средних многолетних значений. В большинстве месяцев периода на востоке СЗФО и ЦФО, на севере УФО, в большинстве регионов СФО, на западе Якутии высокая вероятность положительных аномалий температуры. На юге ЕЧР в отдельные месяцы прогнозируется сочетание положительной аномалии температуры воздуха и дефицита осадков. В большинстве месяцев высока вероятность дефицита осадков в СЗФО и в Якутии. В августе-сентябре прогнозируется высокая вероятность осадков больше нормы на юге ДФО.

В течение теплого периода 2025 года вероятностный прогноз будет корректироваться месячными, декадными и краткосрочными прогнозами погоды [10].

Представленная информация ориентирована на ее использование ФОИВ для оценки рисков возникновения ЧС природного характера, в интересах сельского хозяйства, охраны лесов от пожаров, водного транспорта, энергетики.

Земледелие, растениеводство и кормопроизводство в нестабильных агрометеорологических условиях. Объем производства продукции всех сельхозпроизводителей — сельхозорганизации (СХО), крестьянские (фермерские) хозяйства (КФХ), хозяйства населения (ЛПХ) в 2024 году в действующих ценах составил 8 902,9 млрд рублей, в декабре 2024 г. — 311,9 млрд рублей. В 2024 г. индекс производства продукции сельского хозяйства в хозяйствах всех категорий составил 96,8%, растениеводства 93,5%, животноводства 100,9%.

Валовой сбор зерна в РФ в 2024 году, по предварительным данным, составил 125,0 млн тонн (в весе после доработки), что на 13,8% меньше уровня предыдущего года.

Производство семян подсолнечника (в весе после доработки) уменьшилось в 2024 году на 4% за счет снижения урожайности (на 4,5%). Валовой сбор сахарной свеклы уменьшился на 21,1%, что обусловлено снижением урожайности (на 23,8%) при увеличении убранных площадей (на 3,6%). Льноволокна получено на 29,5% больше, чем в предыдущем году, за счет роста урожайности (на 20,4%). Валовой сбор картофеля уменьшился на 10,9% вследствие снижения урожайности (на 6,4%). Сбор овощей уменьшился на 0,6%.

КФХ и индивидуальными предпринимателями в 2024 году получено 30,4% от общего сбора зерна в хозяйствах всех категорий (в 2023 — 30,8%), сахарной свеклы — 11,9% (10,0%), подсолнечника — 39,2% (38,2%).

Производство картофеля и овощей сосредоточено в хозяйствах населения, которыми в 2024 г. выращено 59,1% картофеля и 46,6% овощей (в 2023 г. — соответственно 57,4% и 45,6%) [2].

Данные Росстата после проведенной окончательной оценки приведены в *табл. 1* [11–13]. Се-

Валовые сборы основных сельскохозяйственных культур в хозяйствах всех категорий РФ,
тыс. тонн [11–13]

Культура	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2024 г. в % к		2019– 2023 гг. в среднем за год
							2023 г.	2019– 2023 гг. в среднем за год	
Зерновые и зернобобовые культуры (в весе после доработки)	121200	133463	121399	157614	144956	125856	86,8	92,7	135727
в том числе:									
Зерновые культуры	117856	130016	117560	153005	139002	120481	86,7	91,6	131488
пшеница	74453	85894	76061	104233	92851	82588	88,9	95,3	86698
пшеница озимая	53373	63229	53045	74006	63841	56717	88,8	92,2	61499
пшеница яровая	21079	22665	23016	30227	29010	25871	89,2	102,7	25200
рожь	1428	2378	1722	2179	1712	1165	68,0	61,8	1884
из нее: рожь озимая	1427	2375	1717	2177	1709	1164	68,1	61,9	1881
тритикале озимая и яровая	356	310	288	307	280	247	88,0	80,0	308
кукуруза на зерно	14282	13879	15238	15787	16622	13954	83,9	92,0	15162
ячмень	20489	20939	17996	23393	21147	16667	78,8	80,2	20793
ячмень озимый	2550	2288	2920	3136	2921	2682	91,8	97,1	2763
ячмень яровой	17939	18651	15076	20257	18226	13985	76,7	77,6	18030
овес	4424	4132	3776	4529	3304	3029	91,7	75,1	4033
рис	1099	1142	1076	920	1073	1259	117,3	118,5	1062
гречиха	786	892	919	1222	1475	1208	81,9	114,1	1059
просо	440	396	368	308	450	324	72,0	82,6	393
Овощи бобовые лущеные сушеные (зернобобовые культуры)	3344	3447	3839	4606	5954	5371	90,2	126,7	4238
из них: горох	2369	2740	3168	3616	4717	3809	80,7	114,6	3322
Семена и плоды масличных культур — всего (в весе после доработки)	22769	21245	24850	29085	29871	30183	101,0	118,1	25564
из них:									
семена подсолнечника	15379	13314	15656	16362	17259	16892	97,9	108,3	15594
бобы соевые	4360	4308	4760	6003	6826	7055	103,4	134,4	5251
семена рапса	2060	2572	2794	4514	4204	4656	110,8	144,2	3229
Свекла сахарная	54350	33915	41202	48908	53137	45116	84,9	97,4	46302
Сырье растительное, используемое в текстильном производстве:									
лен-долгунец — в переводе на волокно	38,5	39,3	25,9	24,1	20,2	26,1	129,5	88,4	29,6
пенька-волокно (конопли среднерусской)	2,4	3,3	3,9	2,9	3,3	5,6	170,0	178,2	3,2
Картофель	22073	19607	17959	18843	20241	17830	88,1	90,3	19745

Культура	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2024 г. в % к		2019–2023 гг. в среднем за год
							2023 г.	2019–2023 гг. в среднем за год	
Овощи свежие или охлажденные, не включенные в другие группировки:									
овощи открытого и закрытого грунта	14104	13864	13029	13614	13844	13930	100,6	101,7	13691
из них:									
огурцы	1626	1687	1603	1636	1652	1710	103,6	104,2	1641
томаты (помидоры)	3015	2976	3051	3251	3251	3261	100,3	104,9	3109
капуста	2646	2652	2202	2325	2184	2223	101,8	92,6	2402
морковь столовая	1559	1369	1263	1364	1367	1498	109,6	108,2	1384
свекла столовая	873	801	732	773	743	758	102,0	96,6	784
лук репчатый	1670	1738	1543	1602	1780	1748	98,2	104,9	1667
бахчевые продовольственные культуры	1785	1584	1899	1635	1689	1629	96,5	94,8	1718
Кормовые культуры:									
корнеплодные кормовые культуры (включая свеклу кормовую сахарную)	447	426	400	368	346	334	96,7	84,1	397
культуры кормовые на силос (без кукурузы)	2200	1873	1249	1425	1252	1339	106,9	83,7	1600
кукуруза на карнаж			225	292	415	488	117,6	157,1	311
кукуруза силос, зеленый корм и сенаж	27185	24751	22720	26808	29822	31147	104,4	118,6	26257
корма из однолетних трав:									
сено	2346	2051	2005	2023	2010	1992	99,1	95,5	2087
корм зеленый, сенаж, травяная мука (вес зеленой массы)	18196	15907	12716	14257	14087	14605	103,7	97,2	15032
корма из многолетних трав:									
сено	7934	8334	6976	7576	6228	6665	107,0	90,0	7410
корм зеленый, сенаж, травяная мука (вес зеленой массы)	33553	34485	27261	31202	28863	32238	111,7	103,8	31073
сено культурных пастбищ и улучшенных сенокосов*	38,5	43,8	35,5	37,5	27,8	25,6	92,0	69,8	36,6
сено естественных сенокосов	8814	8845	8649	7453	8308	8270	99,5	98,3	8414

рьезным фактором, повлекшим за собой снижение урожайности, стали агрометеорологические условия 2024 года. Затяжные возвратные заморозки в первой декаде мая затронули практически всю европейскую часть страны. Кроме того, отмечались майские снегопады в регионах центра ЕЧР. Масштабы и степень поражения посевов сельско-

хозяйственных культур, находившихся в критических стадиях вегетации (прорастание, колошение зерновых, цветение плодовых и ягодных), стали причиной объявления режима ЧС регионального уровня в Воронежской, Пензенской, Ростовской, Орловской, Липецкой, Тамбовской и других областях. Также от неоднократных и длительных

ночных заморозков пострадали посевы и многолетние насаждения в Тульской, Рязанской, Владимирской, Тверской, Ярославской, Московской и других областях.

Агропроизводители юга РФ, проводившие осенний сев в условиях аномальной засухи, отмечают дефицит продуктивной влаги в почве и в 2025 году. Зима — бесснежная и теплая. В марте, в период ярового сева погода в Краснодарском, Ставропольском краях, в ряде районов Ростовской области была аномально сухой [14 и др.]. Озимая пшеница в таких условиях слабо раскустилась.

В апреле пришли заморозки, следовательно можно рассчитывать на урожай зерна не превышающий в среднем на 50–55 ц/га. По центру и югу ЕТР посевы сахарной свеклы пострадали от апрельских заморозков, фиксировалась гибель всходов примерно на 10% площадей посевов. На 31.05.2025 режим ЧС введен по заморозкам в Ростовской, Воронежской и Белгородской областях, отказано в его введении в Тамбовской и Липецкой областях, рассматривается вопрос по Крыму и Курской области.

Кроме того, еще Саратовская область, и возможно, часть Донбасса сначала пострадали от заморозков, а в мае влажность почвы в этих регионах была ниже прошлогодних показателей. В центре, на юге и востоке ЕЧР возможное жаркое и сухое лето — температурные рекорды могут быть побиты в Краснодарском крае и Ростовской области при и так наблюдающейся там засухе. Для зерновых в этих регионах ситуация будет полностью определяться накопленным в почве достаточным запасом продуктивной влаги в слоях 0–20 см и в 0–100 см.

Прогнозная структура посевных площадей сельскохозяйственных культур под урожай 2025 года выглядит следующим образом (табл. 2). Общая площадь посевов не менее — 83,7 млн га; яровой клин — 55,8 млн га. Используя статисти-

ческие данные предшествующих лет [1–3, 11–13], мы оценили возможную максимальную эффективность растениеводства в текущем году по основным культурам (группам культур).

Рациональное использование почвенных ресурсов и влаги. Реализация основных агроэкологических принципов предполагает «климатически нейтральное», «регенеративное», «циклическое» сельское хозяйство, где: 1) обязательно обеспечивается воспроизводство плодородия почв, желательное расширенное, достигающиеся за счет технологий, включающих оценку и корректировку расходных и приходных статей баланса элементов минерального питания растений в агроценозах; 2) максимально используются ресурсы органического вещества, включая отходы животноводства (вернее вторичные ресурсы); 3) не происходит снижения запасов гумуса в пахотных почвах (декарбонизация); 4) полностью исключена их деградация и все виды эрозии; 5) не допускается неконтролируемое обращение и поступление углерод-, фосфор- и азотсодержащих соединений в окружающую среду; 6) полученная агропродукция обладает минимальным из возможных численных показателей «карбонового следа».

Если агротехнологии в растениеводстве рассчитаны на высокий урожай, принципиальное значение равномерное и близкое к норме выпадение осадков во все декады вегетационного периода, а так же накопление и сохранении влаги, не допущение ее непродуктивных потерь.

Рост засушливости климата, а также нарастающий техногенный прессинг способствуют ускоренному развитию ветровой эрозии и образованию передвижных песков (например, в Дагестане, Калмыкии, Астраханской области и др.). Опустынивание и аридизация, прежде всего, приводят к деградации почвенного покрова, снижению плодородия почв, смены растительных сообществ на

Таблица 2

Прогнозная структура посевных площадей в РФ и валовые сборы сельскохозяйственных культур в 2025 году (оценка)

Культура	Посевная площадь, тыс. га	Урожайность (прогноз), ц / га	Валовой сбор (прогноз), тыс. т
Зерновые и зернобобовые, всего	47917	30,4	145225
Пшеница озимая и яровая	29949	31,5	94314
Ячмень озимый и яровой	7496,4	26,0	19503,6
Озимые зерновые	19083	38,4	73255
Яровые зерновые и зернобобовые	28834	25,0	71970
Зернобобовые культуры, всего	3740	19,9	7196
Сахарная свёкла	1173	451,1	52954
Лён-долгунец	41	7,6	31
Масличные культуры, всего	20381	16,6	33629
Картофель (без учета ЛПХ)	286	259,7	7464
Овощи открытого грунта (без учета ЛПХ)	188	302,9	5956

пастбищах, недобору урожая на пашне, неустойчивой работе АПК в целом. В настоящее время этими процессами в той или иной мере охвачена территория более 100,0 млн га в 35 субъектах РФ, где проживает около половины населения страны и производится более 70 % валовой сельхозпродукции.

Для предотвращения дальнейшего ухудшения ситуации нужно провести реновацию или создать заново не менее 8–10 крупных государственных лесных полос в степных и лесостепных районах общей протяженностью до 6000 км, расположенных вдоль пойм и водоразделов крупных рек (Волга, Днепр, Дон, Урал, Северный Донец и др.). При общей площади лесопосадок 120–130 тыс. га они должны стать мощным заслоном на пути движения суховеяных ветров из Центральной Азии и прикаспийских пустынь и обеспечить защиту основных зернопроизводящих регионов РФ от тепловых волн. Также планируется возобновить сеть защитных лесных насаждений регионального, локального и внутрихозяйственного уровней. Лесные полосы должны защитить пахотные почвы на площади 50 млн га и сельхозугодья общей площадью не менее 120 млн га (включая вышеупомянутую пашню).

Целесообразно запланировать облесение и закрепление песков в первую очередь в Дагестане, Чечне, Калмыкии, в Ставропольском крае, в Астраханской, Волгоградской и Ростовской областях. Есть расчетные контрольные значения увеличения площади лесов в Ростовской области до 800 тыс. га, в Волгоградской — до 900 тыс. га, в Астраханской — с до 270 тыс. га. Всего в течение 15–20 лет должны быть высажены 10–12 млн га леса.

За всю историю защитного лесоразведения в России на сельхозземлях было создано 5,2 млн га защитных лесных насаждений, сейчас их площадь уменьшилась до 2,5 млн га (1,2% сельхозугодий) — в 3–6 раз меньше научно обоснованных норм облесения, при минимальной потребности 7,5 млн га. По оценкам, в первую очередь необходимо создать еще 5,0 млн га, а затем во вторую и третью очередь — 2,5 млн га и 2,0 млн га, соответственно.

Для степных регионов страны необходима **Госпрограмма по борьбе с опустыниванием**, предусматривающая восстановление природно-ресурсного потенциала и использование почвозащитных агротехнологий. Для устойчивого развития АПК должна создаваться и поддерживаться оптимальная структура природно-территориальных комплексов регионального уровня, включая земли сельхозназначения. На основе контурно-мелиоративной организации территории и землеустройства должно быть обеспечено оптимальное сочетание в них различных участков — пашни, агролесомелиоративных и агрофитомелиоративных

насаждений, лесов, лугов (сенокосов) и пастбищ, прудов, овражно-балочной долинной сети, позволяющее эффективно и рационально использовать почвенные и гидротермические ресурсы [15–17 и др.]. В последние 35 лет в России выявлена и не решена проблема усиливающейся деградации всех сельхозугодий [15–18 и др.].

Основной целью государственной агрополитики становится достижение оптимального и эффективного использования природных ресурсов с учетом имеющихся социально-экономических особенностей субъектов РФ. При этом обеспечивается сохранение национального богатства — почв, устойчивое воспроизводство их плодородия и секвестрацию углерода, посредством обустройства (преобразования) территории. Возникает возможность, верифицировать данные проекты как «зеленые» или «адаптационные» и выйти на рынок углеродных единиц [19].

Это соответствует Стратегии социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года, утвержденной распоряжением Правительства РФ от 29.10.2021 № 3052-р; Стратегии пространственного развития Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозом до 2036 года, утвержденной распоряжением Правительства РФ от 28.12.2024 № 4146-р; положениям Климатической доктрины РФ, утвержденной Указом Президента РФ от 26.10.2023 № 812 и иным документам стратегического планирования.

Информация для принятия решений будет обеспечена при реализации Постановления Правительства РФ от 30.04.2025 № 597 «Об утверждении Правил взаимодействия Единой федеральной государственной информационной системы о землях сельскохозяйственного назначения и землях, используемых или предоставленных для ведения сельского хозяйства в составе земель иных категорий, и иных государственных информационных систем».

Более чем 135-летний опыт создания природоподобных агроландшафтов и агролесомелиорации показал, что защитное лесоразведение и оптимизация (уменьшение) площади пашни является неотъемлемыми и системообразующими, долго-временно действующим мероприятиями, а в ряде случаев — единственными возможными средствами [16–22 и др.]. Кроме того, это обеспечивают снижение «углеродного следа» продукции АПК, секвестрацию углерода и иных парниковых газов и подпадают под классификацию климатических проектов. После прохождения установленных процедур верификации, возможна торговля углеродными единицами на соответствующих биржах.

Указом Президента РФ от 21.01.2020 № 20 (ред. от 10.03.2025) «Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации» в п. 7 сформулированы национальные интересы государства на долгосрочный период,

в т.ч., восстановление и повышение плодородия почв земель сельхозназначения, рациональное использование таких земель, защита и сохранение сельхозугодий от эрозии и опустынивания.

Выводы

1. Глобальное потепление влияет на частоту аномальных погодных явлений, которые могут включать засухи, наводнения, заморозки и снег в переходные периоды, чаще весной. Его последствиями могут стать, в том числе, деградация почв, их засоление, подъём уровня мирового океана, а также тенденция к опустыниванию и засухам на больших территориях.

2. Изменение климата — серьезный фактор, оказывающий влияние на аграрный сектор и усиливающий неопределенность. Многие сельхозпроизводители под воздействием климатических и агрометеорологических аномалий терпят убытки и снижают рентабельность производства. Такое положение все больше будет влиять на продовольственную безопасность в мире, и приводить к нехватке продовольствия и сельскохозяйственного сырья, в первую очередь, на региональном уровне.

3. По оценкам Росгидромета степень засушливости в земледельческой зоне растёт. За 1976–2024 годы оценки линейного тренда величин гидротермического коэффициент увлажнения по Г.Т. Селянинову за период с мая по август и радиационного индекса сухости по М.И. Будыко за весь тёплый период года ($T > 5^{\circ}\text{C}$) составляют — 0,03 ед./10 лет и 0,03 ед./10 лет [8]. В основных зернопроизводящих областях ЦФО и ПФО климатически обусловленный урожай яровых зерновых в среднем ниже уровня предшествующего пятилетия на 10%.

4. Указ Президента РФ от 10.03.2025 № 141 внесены изменения в Доктрину продовольственной безопасности РФ, предусматривающие поддержание стабильности мировых продовольственных рынков на многосторонней и двусторонней основе, в первую очередь путем сотрудничества с государствами, проводящими конструктивную политику в отношении РФ.

5. В области внешнеэкономической политики требуется обеспечить достижение Повестки дня в области устойчивого развития, принятой Генассамблеей ООН 25.09.2015. Стратегическое направление — наращивание производства сельхозпродукции, сырья и продовольствия, соответствующих установленным экологическим, санитарно-эпидемиологическим, ветеринарным и иным требованиям, для преодоления отрицательного сальдо внешней торговли и формирования экспортного потенциала.

6. Перед АПК стоят стратегические задачи: увеличение производства продукции АПК на 25%, рост экспорта в 1,5 раза относительно 2021 года и обеспечение технологической независимости. Эти направления закреплены в Указе Пре-

зидента РФ от 07.05.2024 № 309 о национальных целях до 2030 года и должны реализовываться с учетом обязательств по достижению углеродной нейтральности. Важно не допустить дальнейшего развития тенденции по снижению российского агроэкспорта в стоимостном выражении на фоне увеличения физической массы вывозимой продукции, достигшей 109 млн тонн. В 2024 г. средняя цена 1 тонны продукции составила всего \$390.

7. Почвы и почвенные ресурсы являются уникальным и недооцененным национальным богатством. Усиление процессов опустынивания, аридизации и деградации ограничивает возможную площадь сельхозугодий с благоприятными почвенно-климатическими условиями. Расчетное значение составляет всего лишь 155–165 млн га. Ценность и уникальность почвенных ресурсов страны требует устойчивого управления ими. Ресурсосберегающее и эффективное агропроизводство основывается на природоподобной организации территории и соответствующем землеустройстве.

8. Постановлением Правительства РФ от 14.05.2021 № 731 (ред. от 16.05.2025) «О Государственной программе эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации» не позднее конца 2030 года планируется: реализация мероприятий по подготовке проектов межевания земельных участков из состава земель сельскохозяйственного назначения и постановке их на государственный кадастровый учет с внесением сведений в ЕГРН; получение полных, достоверных и актуальных сведений о количественных характеристиках и границах земель сельхозназначения, включая количественные и качественные характеристики неиспользуемой пашни.

9. Предусмотрено создание единой федеральной карты-схемы земель сельхозназначения, включая сельхозугодья, в 87 субъектах РФ до конца 2025 года. А также создание единой федеральной почвенной карты земель сельхозназначения в 87 субъектах РФ до конца 2025 года.

10. В Указе Президента РФ от 02.07.2021 № 400 «О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации» закреплено, что обеспечение и защита национальных интересов РФ осуществляются за счет концентрации усилий и ресурсов на реализацию стратегических национальных приоритетов, среди которых экобезопасность и рациональное природопользование. Террпланирование развития субъектов РФ должно основываться на прогнозах и оценках рисков в условиях изменения окружающей среды и климата.

11. Основой государственной агрополитики становится достижение оптимального и эффективного использования возобновляемых и не возобновляемых природных ресурсов с учетом имеющихся социально-экономических особенностей субъектов РФ.

Литература

1. Российский статистический ежегодник. 2024: Стат. сборник. — М.: Росстат, 2024 — 630 с.
2. Социально-экономическое положение России январь-декабрь 2024 года. № 12. — М.: Росстат, 2025. — 356 с.
3. Сельское хозяйство в России. 2023: Стат. сборник. — М.: Росстат, 2023. — 103 с.
4. Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель в Российской Федерации в 2023 году. — М.: Росреестр, 2024. — 181 с.
5. Новая амбиция российского АПК: как увеличить годовой объем экспорта до 70 млрд долл. США / А. Клецко, С. Павлов, Н. Птушкин, С. Ветошкин. — М.: «Яков и Партнёры», 2024. — 37 с.
6. Аграрный экспорт регионов России в 2024 году. — М.: ФЦ «Агроэкспорт», 2025. URL: <https://aemcs.ru/2025/04/16/agrarnyj-eksport-regionov-rossii-v-2024-godu/>.
7. State of the Global Climate 2024. WMO N1368. — Geneva: WMO, 2025. — 42 p.
8. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2024 год. — М.: Росгидромет, 2025. — 139 с.
9. Долбунова Е. Урожай фруктов снизится из-за заморозков // Агроинвестор, 15.04.2025. URL: <https://www.agroinvestor.ru/regions/news/44066-urozhay-fruktoy-snizitsya-iz-za-zamorozkov/>.
10. Вероятностный прогноз температур и осадков в России на апрель-сентябрь 2025 года. — М.: Гидрометцентр. — 12 с. URL: https://www.meteorf.gov.ru/upload/pdf_download/%D1%82%D0%B5%D0%BF%D0%BB%D1%8B%D0%B9_%D0%B%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%BE%D0%B4_2025%D0%B3.pdf.
11. Бюллетень «Валовые сборы и урожайность сельскохозяйственных культур по Российской Федерации в 2024 году» (Ч. 1). 28.02.2025. URL: https://rosstat.gov.ru/storag/mediabank/Val1_2024.xlsx.
12. Бюллетень «Валовые сборы и урожайность сельскохозяйственных культур по Российской Федерации в 2024 году» (Ч. 2). 07.03.2025. URL: https://rosstat.gov.ru/storag/mediabank/Val2_2024.xlsx.
13. Бюллетень «Валовые сборы и урожайность сельскохозяйственных культур по Российской Федерации в 2024 году» (Ч. 3). 28.03.2025. URL: https://rosstat.gov.ru/storag/mediabank/Val3_2024.xlsx.
14. Литвинова Е. НСА ввел процедуру реагирования по ЧС в Белгородской, Воронежской и Ростовской областях // Агроинвестор, 21.05.2025. URL: <https://www.agroinvestor.ru/regions/news/44238-nsa-vvel-protseduru-reagirovaniya-po-chs-v-belgorodskoy-voronezhskoy-i-rostovskoy-oblastyakh/>.
15. Хомяков Д.М. Почва как фактор реализации целей устойчивого развития. Сообщение 2. Наличие, учет и агроэкологические аспекты рационального использования почвенных ресурсов в агропроизводстве // Использование и охрана природных ресурсов в России, 2025. № 1. — С. 81–90.
16. Материалы парламентских слушаний «Сбережение, целевое и эффективное использование сельскохозяйственных угодий», 27.11.2024. — М.: Комитет ГД по аграрным вопросам, 2024. — 61 с. URL: <http://komitet-agro.duma.gov.ru/novosti/4188c218-c998-4488-b675-a9de93766229>.
17. Материалы «круглого стола» на тему: «Обеспечение продовольственной безопасности в условиях изменения климата: глобальные вызовы для государственной аграрной политики», 27.03.2025. — М.: Комитет СФ по аграрно-продовольственной политике и природопользованию, 2025. — 151 с. (рукопись).
18. Кашин В. И. Мы должны не просто увеличивать производство, а развивать устойчивое сельское хозяйство // Вестник агропромышленного комплекса, 06.05.2025. URL : <https://vestnikapk.ru/articles/aktualno/vladimir-kashin-my-dolzhen-ne-prosto-uvlechivat-proizvodstvo-a-razvivat-ustoychivoeselskoe-khozyay/>.
19. Гордеева Е. М. К вопросу о международном лесном праве: нужен ли миру договор по лесам? — Киров: Вятский госуниверситет, 2025. — 245 с.
20. Хомяков Д.М. Почва как фактор реализации целей устойчивого развития. Сообщение 1. Экологические и правовые вопросы // Использование и охрана природных ресурсов в России, 2024. № 3. — С. 70–79.
21. Soil Strategy for 2030. Reaping the benefits of healthy soils for people, food, nature and climate SWD (2021) 323 final. New EU Soil Strategy for 2030. URL: https://ec.europa.eu/environment/publications/eu-soil-strategy-2030_en.
22. Tomalka J., Hunecke C., Murken L., et al. Stepping back from the precipice: Transforming land management to stay within planetary boundaries. — Potsdam: Potsdam Institute for Climate Impact Research, 2024. — 122 p. URL: https://publications.pik-potsdam.de/pubman/item/item_3063.

Сведения об авторе:

Хомяков Дмитрий Михайлович, к.б.н., д.т.н., проф., профессор кафедры общего земледелия и агроэкологии Факультета почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова; 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, стр. 12; e-mail: khom@bk.ru

Особенности проведения мониторинга земель сельскохозяйственного назначения в России и за рубежом

О.В. Каменецкая¹, к.э.н., У.А. Шергазиев², д.с.-х.н., проф., Р.А. Ромашкин¹, к.э.н.

¹Евразийский центр по продовольственной безопасности МГУ им. М. В. Ломоносова

²Кыргызский национальный аграрный университет им. К.И. Скрябина

В современных условиях для обеспечения продовольственной безопасности России, а также в связи с поставленными руководством страны целями по наращиванию производства и экспорта агропродовольственной продукции особую актуальность приобретают вопросы совершенствования мониторинга состояния земель сельскохозяйственного назначения, включая оценку содержания вносимых минеральных и органических удобрений. Изменения баланса питательных веществ с течением времени дают важное представление о том, насколько эффективно используются сельскохозяйственные ресурсы по отношению к получаемой продукции, а также являются показателем риска загрязнения окружающей среды и потенциального дефицита питательных веществ. Положительный опыт проведения мониторинга состояния земель сельскохозяйственного назначения в зарубежных странах может быть использован в российской практике с целью совершенствования системы управления земельными ресурсами.

Ключевые слова: мониторинг почв, почвенное обследование, земли сельскохозяйственного назначения, макроэлементы, минеральные и органические удобрения, баланс питательных веществ.

Введение

По прогнозным оценкам к 2050 г. необходимо будет увеличить мировое производство продовольствия на 57% [1]. Однако большая часть используемых для сельского хозяйства земель либо уже обрабатывается, либо непригодна для использования из-за физической, химической и биологической деградации.

Мониторинг состояния почв — это систематическое измерение свойств и процессов стандартными методами во времени и пространстве в рамках четкой стратегии по сбору достоверных данных о почвах для обеспечения устойчивого управления ими, оптимизации производства продовольствия, контроля выбросов парниковых газов, охраны водных ресурсов и биоразнообразия. Характеристики почвы, такие как органический углерод, засоленность или количество питательных веществ, варьируют в пространстве и времени в зависимости от масштаба сельскохозяйственного производства и зависят от различных внутренних и внешних факторов [1].

Характер этих изменений находится в тесной зависимости от складывающегося баланса основных питательных веществ в почвах. Изменения баланса питательных веществ с течением времени дают важное представление о том, насколько эффективно используются сельскохозяйственные ресурсы по отношению к получаемой продукции, а также являются показателем риска загрязнения окружающей среды и потенциального дефицита питательных веществ.

В настоящее время, когда остро стоят вопросы повышения производства и экспорта агропродовольственной продукции, первостепенное значение получает исследование потенциала продуктивности почв, непосредственно связанное

с объемами вносимых удобрений. В этой связи актуальным представляется проведение сравнительного анализа динамики объемов вносимых минеральных и органических удобрений в России и зарубежных странах, а также оценка особенностей проведения в данных странах мониторинга и обследований состояния почв с целью рассмотрения возможностей использования положительного зарубежного опыта в российской практике.

Объекты и методы

Объектами исследования являются земельные угодья России, Китая и США. В процессе исследования изучены положения действующих российских и зарубежных нормативных правовых актов и аналитических материалов, касающихся проведения мониторинга земель сельхозназначения и почвенных обследований. В работе использовались экономико-статистические методы исследования, а также метод сравнительного анализа.

Результаты и обсуждение

По данным экспертов Международной ассоциации производителей удобрений IFA, потребление минеральных удобрений во всем мире в 2023 г. возросло на 4%, до 192,5 млн тонн [2]. Однако это все еще меньше уровня 2020 г., когда был произведен их рекордный объем — 200,2 млн тонн. Потребление удобрений в последние годы сократилось из-за высоких цен.

Выбор объектов исследования был обусловлен их различиями в объемах вносимых удобрений: в России он на уровне ниже среднемирового показателя, в США уровень внесения схож со среднемировым, а в Китае он гораздо выше среднемирового показателя (рис. 1). При этом внесение

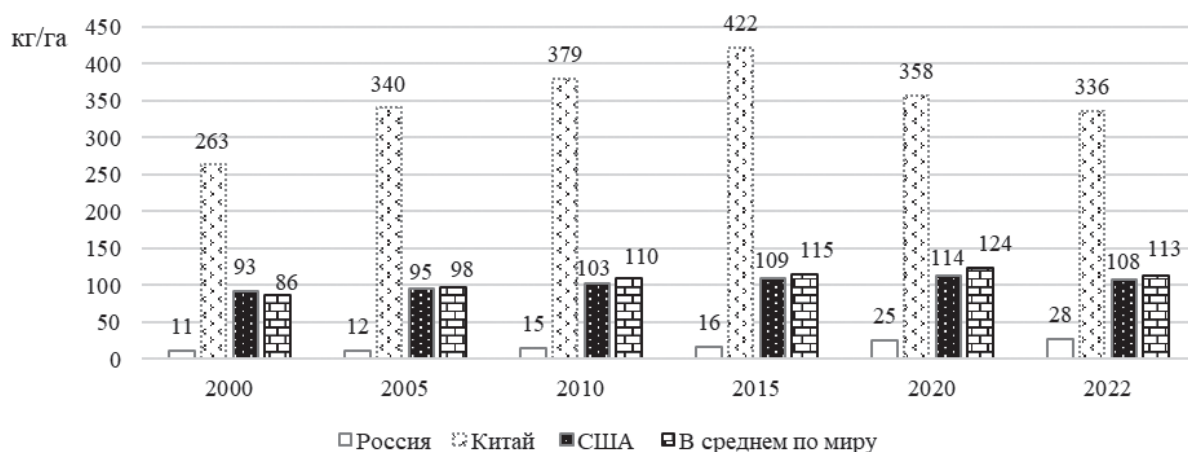


Рис. 1. Внесение всех видов удобрений (азотные, калийные и фосфорные) в России, Китае, США и в среднем по миру, кг на га пахотных земель [3]

минеральных удобрений в высоких объемах приводит к подкислению и уплотнению почвы.

Несмотря на возросший в 2,5 раза уровень внесения удобрений в России за исследуемый период, в 2022 г. этот показатель оставался в 12 раз меньше, чем в Китае и в 4 раза ниже среднемирового уровня, составляя 28 кг/га. При этом в Китае до 2016 г. отмечался рост объемов использования удобрений, а затем наблюдается снижение. За период 2016–2022 гг. он сократился на 77 кг/га или на 19% с 414 до 336 кг/га [3]. Это свидетельствует о том, что фокус внимания руководства страны постепенно смещается на экологическую повестку в соответствие с мировыми трендами.

Далее представлены результаты анализа действующих систем мониторинга земель сельскохозяйственного назначения в исследуемых странах.

Россия. Согласно ст. 16 Федерального закона от 16 июля 1998 г. № 101-ФЗ «О государственном регулировании обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения» государственный мониторинг земель сельскохозяйственного назначения является составной частью государственного мониторинга земель и представляет собой систему наблюдений, оценки и прогнозирования, направленных на получение достоверной информации о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения [4].

Вопрос совершенствования мониторинга плодородия земель в настоящее время получает все большую актуальность в связи с внесенными в 2025 г. изменениями в Доктрину продовольственной безопасности РФ, обусловленными возрастающим значением России на глобальном продовольственном рынке в условиях формирования многополярного мира, заключающимся в наращивании внутреннего сельхозпроизводства с целью развития агропродовольственного экспорта [5]. В этой связи поставлена задача к 2030 г. увеличить производство сельхозпродукции на четверть, а агропродовольственный экспорт — в полтора раза. Значительная роль в достижении этих целей отводится отрасли растениеводства. В частности, предусматривается, что сбор зер-

новых и зернобобовых к 2030 г. должен достигнуть 170 млн тонн, масличных — 36,4 млн тонн, картофеля — 8,4 млн тонн, овощей — 8,5 млн тонн, плодов и ягод — 3 млн тонн.

Реализация полномочий Минсельхоза РФ по государственному мониторингу земель сельскохозяйственного назначения осуществляется подведомственной ему организацией — ФГБУ «Российский центр государственного мониторинга земель сельскохозяйственного назначения» (Россельхозземмониторинг). Помимо проведения мониторинга плодородия земель указанная организация ответственна за реализацию следующих видов деятельности:

- ведение государственного реестра земель сельскохозяйственного назначения;
- формирование единой федеральной карты-схемы земель сельскохозяйственного назначения;
- обеспечение ввода и вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения;
- подготовка ежегодного доклада о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения.

В Докладе о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения РФ, изданном в 2023 г., раздел 2.2. посвящен состоянию плодородия земель [6]. В нем содержатся обобщенные данные по показателям плодородия почв сельхозугодий, полученные по результатам полевых обследований подведомственных Минсельхозу РФ ФГБУ, центров и станций агрохимслужбы, центров химизации и сельскохозяйственной радиологии, включающие содержание органического вещества (гумуса), кислотность почв, содержание подвижного фосфора и обменного калия.

Однако стоит обратить внимание на ряд проблем, препятствующих получению полной и актуальной информации о состоянии плодородия земель сельскохозяйственного назначения для производителей, лиц, принимающих решения, потенциальных инвесторов.

Во-первых, отсутствие единой федеральной законодательной базы по выявлению особо ценных продуктивных сельхозугодий привело к тому, что в разных регионах применяются различные

критерии, на основе которых формируются Перечни особо ценных продуктивных сельскохозяйственных земель. Вследствие того, что формирование и утверждение такого перечня не является обязанностью субъекта РФ, а правом, по состоянию на 01.01.2024 г. учет особо ценных продуктивных сельскохозяйственных земель велся только в 60 регионах РФ.

Для охраны особо ценных сельскохозяйственных земель, утверждения свода правил по их защите от перевода в иные виды пользования, предупреждения эрозионных и прочих негативных процессов, рационального использования, предотвращения их порчи и загрязнения целесообразно разработать единую нормативно-правовую базу для всех регионов РФ по отнесению сельскохозяйственных земель к особо ценным и признать формирование перечня таких земель к обязательным мероприятиям для всех субъектов РФ.

Во-вторых, неравномерное развитие и использование информационных систем мониторинга земель сельскохозяйственного назначения в различных регионах РФ, отсутствие в цифровом виде полных карт сельскохозяйственной освоенности территорий с границами полей севооборотов, агрополигонов и контуров, неразвитая сеть пунктов оперативного мониторинга, наземных станций, в т.ч. и метеорологических, отсутствие авиационной поддержки ввиду высокой стоимости привели к тому, что по состоянию на 2023 г. госмониторинг земель был проведен только в 37 регионах РФ. В этой связи представляется необходимым формирование федеральной информационной системы мониторинга состояния земель сельскохозяйственного назначения с соблюдением национальных стандартов РФ при разработке программных продуктов и масштабирование ее на все субъекты РФ.

В-третьих, отсутствие регулярного локального мониторинга на реперных и контрольных участках, заложенных на землях сельскохозяйственного назначения, для своевременного выявления и прогнозирования изменений плодородия почвы, качества и количества сельхозпродукции, предупреждения и устранения негативных процессов, происходящих в окружающей среде под воздействием природных и антропогенных факторов, привело к неравномерному по времени и пространству определению показателей плодородия земель сельскохозяйственного назначения в различных субъектах РФ. В связи с чем предлагается закрепить в соответствующем нормативно-правовом документе обязательное регулярное осуществление

мероприятий локального мониторинга плодородия почв во всех субъектах РФ в соответствии с Методическими указаниями по проведению локального мониторинга на реперных участках [7].

Для устойчивого управления почвенными ресурсами и использования почвосберегающих технологий при ведении производственной деятельности в российском правовом поле должны появиться такие понятия как «почвы земель сельскохозяйственного назначения» и «плодородие почв земель сельскохозяйственного назначения». Сложившаяся нормативно-правовая база в сфере регулирования вопросов землепользования не дает внятного представления о месте почв, почвенного покрова и почвенных ресурсов в организации землепользования, реализации земельной политики, ведении агропроизводства и формировании устойчивой национальной продовольственной системы [8].

Практически во всех регионах сохраняется тенденция к ухудшению состояния почв. Основными негативными процессами, приводящими к деградации почв, являются водная и ветровая эрозия, заболачивание, подтопление, переувлажнение, засоление и осолонцевание. Этим процессам подвержены более половины общей площади сельскохозяйственных земель страны [9].

За 2000–2023 гг. объем вносимых минеральных удобрений в сельхозорганизациях России в пересчете на 100% питательных веществ под сельскохозяйственные культуры в целом вырос в 2,5 раза с 1,4 млн т в 2000 г. до 3,5 млн т в 2023 г. (табл. 1). При этом наиболее высокие показатели внесения были характерны для посевов зерновых и зернобобовых культур (порядка 2 млн т в пересчете на 100% питательных веществ), наименьшие — для посевов овощей и бахчевых культур (20 тыс. т в пересчете на 100% питательных веществ).

В целом, за рассматриваемый период внесение минеральных удобрений под зерновые и зернобобовые культуры выросло в 2,4 раза, под сахарную свеклу — в 3,2 раза, под подсолнечник — более чем в 10 раз, тогда как под кормовые культуры имело место снижение внесения в 1,4 раза. Наибольший прирост использования минеральных удобрений для выращивания подсолнечника связан с высокой маржинальностью семян подсолнечника и высоким спросом на них со стороны перерабатывающих предприятий.

Таблица 1

Внесение минеральных удобрений в сельхозорганизациях России в 2000–2023 гг.,
тыс. т в пересчете на 100% питательных веществ [10]

Сельхозкультура	2000	2005	2010	2015	2020	2023
По всем культурам в среднем	1360,8	1419,4	1902,0	2011,9	3045,4	3452,1
Зерновые и зернобобовые	804,2	918,8	1135,5	1165,2	1834,9	1965,6
Сахарная свекла	88,6	168,5	260,8	241,0	265,2	290,5
Кормовые культуры	364,6	185,0	182,5	168,0	219,5	253,6
Подсолнечник	22,0	52,8	96,6	96,8	185,8	225,7
Картофель	33,5	25,0	49,5	51,6	56,0	68,7
Овощи и бахчевые	18,2	10,4	15,1	13,7	18,3	19,7

Таблица 2

**Внесение органических удобрений в сельхозорганизациях России в 2000–2023 гг.,
млн т в пересчете на 100% питательных веществ [10]**

<i>Сельхозкультура</i>	<i>2000</i>	<i>2005</i>	<i>2010</i>	<i>2015</i>	<i>2020</i>	<i>2023</i>
По всем культурам в среднем	66,0	49,9	53,1	64,2	70,5	71,2
Зерновые и зернобобовые	38,7	30,2	28,3	29,9	29,6	28,7
Кормовые культуры	17,8	13,5	15,1	18,4	22,1	22,4
Подсолнечник	0,3	0,7	2,1	3,4	4,3	4,5
Сахарная свекла	1,3	1,5	2,1	1,9	1,8	1,6
Картофель	5,9	2,3	1,7	1,0	0,4	0,3
Овощи и бахчевые	1,4	0,5	0,3	0,3	0,2	0,2

Таблица 3

**Сравнительная характеристика динамики внесения минеральных и органических удобрений
под посевы сельскохозяйственных культур в сельхозорганизациях России в 2000–2024 гг.,
в пересчете на 100% питательных веществ [10]**

<i>Сельхозкультура</i>	<i>Вид удобрений</i>	<i>Единицы измерения</i>	<i>2000</i>	<i>2005</i>	<i>2010</i>	<i>2015</i>	<i>2020</i>	<i>2023</i>
В среднем по всем культурам	минеральные	кг/га	19	25	38	42	69	76
	органические	т/га	0,9	0,9	1,1	1,4	1,6	1,6
Овощи и бахчевые	минеральные	кг/га	84	142	179	166	260	258
	органические	т/га	6,6	5,2	3,7	3,6	2,3	2,1
Картофель	минеральные	кг/га	155	181	263	328	461	517
	органические	т/га	27,4	16,4	9,1	6,1	3,2	2
Зерновые и зернобобовые	минеральные	кг/га	20	29	41	45	76	81
	органические	т/га	1,0	0,9	1,0	1,2	1,2	1,2
Кормовые культуры	минеральные	кг/га	13	9	12	14	23	31
	органические	т/га	0,7	0,7	1,0	1,5	2,3	2,7
Подсолнечник	минеральные	кг/га	6	15	24	25	44	45
	органические	т/га	0,1	0,2	0,5	0,9	1,0	0,9
Сахарная свекла	минеральные	кг/га	119	252	276	274	316	310
	органические	т/га	1,8	2,3	2,2	2,2	2,1	1,7

Объемы вносимых органических удобрений в России увеличились незначительно — с 66 млн т в 2000 г. до 71 млн т в 2023 г. (табл. 2). В наибольшей степени выросло внесение органических удобрений под подсолнечник — в 15 раз. Внесение данных видов удобрений под зерновые и зернобобовые культуры сократилось на 26%, под кормовые культуры — увеличилось на 26%, под сахарную свеклу — варьировало в пределах 1,3–2,1 млн т. При этом наиболее высокие показатели внесения также характерны для посевов зерновых и зернобобовых культур (29 млн т в пересчете на 100% питательных веществ), наименьшие — для посевов овощей и бахчевых культур (0,2 млн т в пересчете на 100% питательных веществ).

Внесение минеральных удобрений на 1 га посевов в целом по России за рассматриваемый период выросло в 4 раза (с 19 кг/га в 2000 г. до 76 кг/га в 2023 г.), тогда как внесение органических удобрений увеличилось в меньшей степени — в 1,8 раза (с 0,9 до 1,6 т/га) (табл. 3). Лидером по объемам вносимых минеральных удобрений являются посевы сахарной свеклы, показатель за 2023 г. составил 310 кг/га, что превышает среднее значение по культурам в 4 раза. Наиболее интенсивный рост удельного внесения минеральных удобрений характерен для посевов подсолнечника — в 7 раз, далее следу-

ют показатели по зерновым и зернобобовым культурам — рост в 4,1 раза, сахарной свекле — рост в 2,6 раза, кормовым культурам — рост в 2,4 раза.

Так же, как и в случае с минеральными удобрениями, в большей степени объем удельного внесения органических удобрений увеличился под посевами подсолнечника — в 9 раз (с 0,1 до 0,9 т/га). В настоящее время наиболее высоким удельным объемом внесения органических удобрений характеризуются посевы кормовых культур (2,7 т/га) (см. табл. 3).

Таким образом, проведенный анализ позволяет заключить, что несмотря на рост показателей вносимых удобрений, в большей степени минеральных, в России за последние более чем 20 лет их количество все еще существенно отстает от среднемировых значений — более чем в 4 раза. Это свидетельствует о наличии возможностей кратного наращивания урожайности при увеличении объемов использования удобрений.

С целью дальнейшего совершенствования системы мониторинга земель сельхозназначения в России необходимо законодательно закрепить такие основополагающие понятия как «почвы земель сельскохозяйственного назначения» и «плодородие почв земель сельскохозяйственного назначения»; разработать единую нормативно-правовую базу по отнесению сельхозземель к особо

ценным; сформировать федеральную информационную систему мониторинга земель сельскохозяйственного назначения; закрепить в соответствующем нормативно-правовом документе обязательное регулярное осуществление мероприятий локального мониторинга плодородия земель сельхозназначения во всех субъектах РФ.

Китай. За последние четыре десятилетия в Китае наблюдался быстрый экономический рост. В результате индустриализации и урбанизации количество используемых тяжелых металлов значительно возросло, что оказывает негативное воздействие на состояние почв. В Китае принята 10-балльная система классификации обрабатываемых земель, при этом 1-й класс — лучший. Согласно *Первому национальному обследованию почв* в Китае (1958–1960), средний балл — 4,76, две трети всей почвы низкого или среднего качества, качество пахотных почв низкое и продолжает деградировать [11]. Содержание органического углерода в почве Китая более чем на 30% ниже, чем в среднем по миру, и менее чем в 2 раза ниже, чем в Европе.

По некоторым оценкам, на сельскохозяйственность приходится 80, 56 и 63% от общего количества загрязнения сельскохозяйственных угодий Cu, Zn и Cd, соответственно. Примерно 8,3% из 120 млн га пахотных земель Китая загрязнены в результате интенсивной добычи полезных ископаемых, сброса мусора и длительного использования пестицидов [12].

За последние 4 десятилетия, с момента проведения Второго национального обследования почв Китая, произошли следующие изменения:

1. *Рост загрязнения почв тяжелыми металлами.* Основным загрязнителем почвы в Китае является кадмий, который вредит печени и почкам и имеет длительный период полураспада в организме человека. Он образуется в результате атмосферного осаждения металла после его выброса при сжигании угля, на металлургических предприятиях и при внесении фосфорных удобрений. Инициатива 2013 г. по борьбе с загрязнением воздуха и строгий контроль за содержанием кадмия в цинксодержащих кормах для животных позволили взять под контроль источники загрязнения почв этим тяжелым металлом.

2. *Быстрое подкисление.* За 20 лет уровень pH пахотных почв Китая снизился в среднем на 0,5, что означает увеличение кислотности в 2,2 раза. Быстрое закисление почвы вызвано кислотными дождями и большим количеством минудобрений. Подкисление приводит к увеличению количества токсичных тяжелых металлов, поглощаемых сельскохозяйственными культурами. Совокупное воздействие подкисления и загрязнения тяжелыми металлами представляет угрозу продовольственной безопасности Китая.

3. *Изменения в содержании органического вещества.* Содержание органического углеро-

да — один из важнейших показателей плодородия почвы. В 80-х гг. XX в. запасы органического углерода в верхних 20-сантиметровых участках сельскохозяйственных угодий Китая уже были низкими: 26,6–32,5 т/га. Это намного меньше, чем в США — 43,7 т/га и ЕС — 40,2 т/га. Однако за последние 30 лет уровень содержания углерода в почве повысился благодаря популяризации земледелия низкой и нулевой обработкой почвы, а также использованию сидератов и компоста [13].

В целом, существующая система мониторинга качества почв в Китае не отвечает требованиям точного определения состояния почвенного покрова на всей территории страны. Для проведения точного мониторинга почв необходимо создать систему мониторинга на различных уровнях — национальном, провинциальном и местном [12].

В рамках 14-го пятилетнего плана (2021–2025 гг.) и принятой Концепции развития Китая до 2035 г. Министерство сельского хозяйства и сельских дел КНР совместно с Госкомитетом по делам развития и реформ и другими органами разработали и приступили к исполнению «Государственного плана реализации проектов по охране черноземов (2021–2025 гг.)», включающего защиту и улучшение их качества, повышение содержания органических веществ более чем на 10% [13].

В Китае черноземы в основном распространены на севере — в провинциях Хэйлунцзян, Цзилинь, Ляонин и автономном районе Внутренняя Монголия. Северо-восточные районы КНР располагают примерно 19,6 млн га черноземов, которые занимают 15,4% от общей площади пригодных для обработки территорий. Однако долгие годы жесткой эксплуатации и ряд других факторов привели к эрозии, снижению содержания в гумусе питательных веществ, что негативно отразилось на почвенном плодородии.

С 1 августа 2022 г. в Китае вступил в действие Закон об охране черноземов с целью обеспечения экологической и продовольственной безопасности страны. В 2022 г. Минприроды КНР обнародовало «Уведомления об усилении защиты пахотных черноземных почв», которые требовали ужесточить управление и контроль в планировании территориального пространства. Все пахотные черноземы должны быть включены в «красные линии охраны».

Кроме того, в рамках 14-го пятилетнего плана Китая Министерство природных ресурсов и Министерство сельского хозяйства и по делам сельских районов в 2022 г. запустили *Третье национальное обследование почв* для обеспечения национальной продовольственной безопасности и поддержки развития сельского хозяйства с использованием точных данных о почвах. Цель обследования — получить всестороннее представление о текущем состоянии почвенных ресурсов в стране, включая физические, химические и биологические свойства. В рамках Третьего обследования почв впервые будет полу-

чено четкое представление о типах почв, их количестве, распределении и условиях их формирования. Полученные результаты будут способствовать выявлению значительных изменений в землепользовании и качестве почв за последние 40 лет и позволят систематизировать научную классификацию почв, разработать систему планирования и использования почвенных ресурсов, совершенствовать технологии внесения удобрений, обеспечить защиту и рациональное использование почвенных ресурсов.

Объектом почвенного обследования является почва пахотных земель, садовых участков, лесных угодий, лугопастбищных угодий, а также неиспользуемых земель, то есть засоленные и щелочные земли. По итогам обследования во второй половине 2025 г. будет издан обзор о качестве пахотных земель и оценке пригодности использования почв в стране [14].

Для эффективного и устойчивого управления земельными ресурсами, рационального использования и охраны окружающей среды решающее значение имеет точная пространственная информация о почвах с высоким разрешением. С момента создания цифрового почвенного картографирования (Digital soil map — DSM) и Рабочей группы GlobalSoilMap в области пространственной почвенной информации во всем мире были достигнуты значительные успехи. Однако точное прогнозирование почвенных изменений на больших и сложных территориях с ограниченным количеством образцов остается сложной задачей, особенно для Китая, который отличается разнообразием почвенных ландшафтов.

Китайскими учеными была разработана новая версия национальной почвенной информационной сети страны с высоким разрешением, использующая огромное количество образцов почвенных профилей из разных источников и передовые методы машинного обучения. Эта версия включает в себя исследование более двадцати физических и химических свойств почвы, прогнозные карты для каждого типа почв, охватывающие шесть стандартных глубин, соответствующих почвенным горизонтам (0–5, 5–15, 15–30, 30–60, 60–100 и 100–200 см). Это ресурс позволяет эффективно прогнозировать пространственные изменения свойств почв на всей территории Китая.

Разработанные прогнозные карты также являются вкладом Китая в проект GlobalSoilMap и могут быть использованы для различных гидрологических, экологических анализов и моделирования региональных систем планеты Земля [15].

США. В США активно ведется мониторинг состояния почв, который включает в себя различные виды наблюдений и анализа. Мониторинг направлен на поддержание здоровья почв, предотвращение негативных воздействий и устойчивое использование почвенных ресурсов. К основным аспектам мониторинга почв в США относятся: эко-

логический (оценка загрязнения почв), агроэкологический (оценка влияния сельскохозяйственности на состояние почв, включая использование пестицидов и удобрений), наблюдение за уровнем и качеством грунтовых вод.

Задачи мониторинга состояния почв в США охватывают:

- выявление и оценку состояния загрязнения, включая определение источников загрязнения почвы, оценку степени загрязнения и разработку мер по его снижению;
- прогнозирование изменений состояния почвы под влиянием различных факторов, включая климатические изменения и деятельность человека;
- разработку мер по сохранению и восстановлению почвенных ресурсов, а также по предотвращению дальнейшей деградации почв;
- обеспечение устойчивости сельского хозяйства, включая оценку влияния сельскохозяйственных практик на состояние почв и разработку рекомендаций для устойчивого ведения хозяйства.

В качестве примеров мониторинговых программ и проектов в США можно рассмотреть:

- проекты по мониторингу состояния грунтовых вод — наблюдение за уровнем и качеством грунтовых вод в различных регионах страны;
- программы мониторинга качества почвы — регулярные исследования качества почвы в различных сельхозугодиях и экосистемах, включая анализ физических, химических и биологических характеристик почв, включая содержание питательных веществ, тяжелых металлов, органического вещества и другие параметры;
- развитие технологий мониторинга — разработка и внедрение новых датчиков и систем для мониторинга состояния почв в реальном времени.

Традиционными методами измерения состояния почвы являются в основном лабораторные методы анализа, такие как ионная хроматография, оптико-эмиссионная спектрометрия/масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой, газовая хроматография-масс-спектрометрия и хемилюминесценция.

Хотя эти методы обладают высокой точностью, процессы отбора проб, транспортировки, предварительной обработки и анализа требуют огромных затрат времени и усилий. Кроме того, используемые методы не позволяют получать данные о почве в режиме реального времени, непрерывно и на месте, что приводит к дефициту информации, препятствующему принятию решений о мерах предосторожности, профилактике и управлении. Несмотря на то, что эпоха «больших данных» предоставляет уникальную возможность повысить эффективность анализа почвы, формирование почвенной информации по-прежнему зависит от спутников, пилотируемых и беспилотных летательных аппаратов, которые не могут получать данные о профилировании по глубине почвы или

разделять поля на небольшие участки. В этой связи огромным потенциалом для развития полевых измерений, представляющих собой непрерывное отслеживание изменений неоднородных параметров почвы и различных загрязняющих веществ, обеспечивая постоянное обновление, необходимое для управления системой и принятия решений, обладает такой способ как *непрерывный мониторинг почвы в режиме реального времени* (Real-time continuous soil monitoring — RTCSM).

В последнее десятилетие новые загрязнители (emerging contaminants — ECs), такие как фармацевтические препараты, эндокринные разрушители, гормоны и микропластики, вызывают повышенную озабоченность с точки зрения использования почвы и безопасности пищевых продуктов. Учитывая важность поддержания здоровья и плодородия почвы, сведения к минимуму ее загрязнения, становятся необходимыми непрерывный мониторинг и своевременная оценка качества почвы, динамики содержания питательных веществ в ней и ее механических свойств.

Непрерывный мониторинг почвы в режиме реального времени (RTCSCM) определяется как постоянная оценка физико-химических параметров почвы (например, влажности почвы и питательных веществ), биохимических параметров почвы (например, микроорганизмов и ферментов) и загрязняющих веществ в почве (например, тяжелых металлов и ECs) и непрерывное получение измеренных данных в режиме реального времени на месте. Демонстрируется панорамное видение применения RTCSCM, основанное на тесном взаимодействии этих параметров и загрязняющих веществ в почвенной среде.

Например, органический углерод в почве способствует удержанию и обмену питательных веществ и влияет на деградацию загрязнителей и климатические условия, включая температуру, содержание CO₂ и аэрацию почвы (уровень кислорода). Азот в почве может быть преобразован в N₂, N₂O и NH₃ посредством денитрификации и аммонификации, что играет жизненно важную роль в плодородии почвы и изменение климата. Цикл фосфора включает минерализацию, адсорбцию, десорбцию, а растворение в почвенном фоне напрямую влияет на его превращение в формы, которые могут усваиваться растениями. Стойкие новые загрязнители, оседающие на частицах почвы, могут мигрировать в грунтовые воды и оказывать неблагоприятное воздействие на здоровье человека и водные экосистемы [16].

Национальное совместное обследование почв (National Cooperative Soil Survey — NCSS) представляет общенациональное партнерство региональных, государственных и местных агентств, а также частных организаций и учреждений. Это партнерство работает над совместным исследованием, инвентаризацией, документированием, классификацией, интерпретацией, распространением и публикацией информации о почвах США.

NCSS направлено на завершение почвенных исследований в нескольких оставшихся ненаблюденных на карту районах, а также на координацию и обновление существующих почвенных исследований посредством корреляционных мероприятий и сбора данных. Четыре основные цели NCSS включают в себя: 1) завершение инвентаризации почв; 2) актуализацию почвенного кадастра; 3) предоставление интерпретирующей информации о почвах; 4) обеспечение доступа к информации о почвах и содействие ее использованию.

Основным средством распространения официальных данных и информации о почвенных обследованиях NCSS является веб-сервис обследования почв (Web Soil Survey — WSS), внедренный в 2005 г. Он предоставляет общедоступный онлайн-интерфейс для национальной коллекции наборов данных (Soil Survey Geographic Database — SSURGO) в базе данных (Soil Data Mart — SDM). Информация для интерпретации ежегодно обновляется.

В WSS пользователь должен сначала очертить область интереса, для которой он хочет получить данные и информацию о почвенных исследованиях. Область интереса может представлять собой отдельную ферму или ранчо, отдельное фермерское поле, зону осушения водораздела, либо охватывать несколько участков обследования. Пользователи могут определить свою область интереса с помощью графических инструментов, которые являются частью интерфейса WSS, или загрузить границы в соответствии с ГИС.

После определения области интереса пользователь WSS может отобразить почвенную карту для выбранной области, распечатать отдельные карты или загрузить данные SSURGO для выбранной области. Данные, относящиеся к тематическим картам, также включены в программу загрузки данных SSURGO, чтобы пользователь мог создавать аналогичные карты с помощью своего локального программного обеспечения для ГИС. WSS объединяет наборы данных и отображает данные и карты в одном слое.

В США данные почвенных исследований и информация для оценки состояния почв из официальной географической базы данных почвенных исследований (SSURGO) являются важной частью растущего числа географических информационных систем (ГИС) и моделей. Эти системы и модели используются в региональном и городском планировании, прогнозировании эрозии, оценке урожайности сельскохозяйственных культур, определении способности почвы оказывать экосистемные услуги (такие как накопление углерода), которые могут влиять на глобальный климат [17].

Выводы. Проведенное исследование показало, что в России, Китае и США существуют развитые системы обследования состояния почв, преследующие схожие цели — получение актуальной информации о состоянии почвенных ресурсов для

их эффективной защиты, управления и прогнозирования сельхозпроизводства. Однако в России акцент делается в большей степени на выявлении потенциала неиспользуемых земель с целью их вовлечения в сельхозоборот, а также оценке перспектив повышения продуктивности посевов на основании полученных данных внесения удобрений. В Китае наиболее актуальны вопросы предотвращения загрязнений почв и защиты черноземов в четырех провинциях, расположенных на севере страны, а также получение полной и четкой информации о состоянии почвенного покрова на всей территории страны в результате проведения Третьего национального почвенного обследования. В США особую значимость приобретает развитие новых методов исследования, позволяющих получать почвенные данные в режиме реального времени для лучшего управления земельными ресурсами.

Мониторинг почв в исследуемых странах осуществляется с разной периодичностью и включает различные инструменты. В современных условиях получили распространение такие инновационные

составляющие исследований, как национальная почвенная информационная сеть почвенных данных, позволяющая эффективно прогнозировать пространственные изменения свойств почв на всей территории Китая; система непрерывного мониторинга почвы в режиме реального времени, позволяющая отслеживать изменения неоднородных параметров почвы и содержания различных загрязняющих веществ, обеспечивая постоянное обновление, необходимое для устойчивого управления почвенными ресурсами и принятия обоснованных решений в США.

Безусловно, опыт зарубежных стран представляет определенную ценность для российской практики и может быть использован в части более углубленного изучения используемых передовых методов изучения почвенных свойств в режиме реального времени, что будет способствовать принятию оперативных решений в случае внезапного ухудшения природно-климатических условий, а также разработке обоснованных управленческих мер по предотвращению деградационных процессов и восстановлению деградированных почв.

Литература

1. Time to address global soil monitoring? Intergovernmental technical panel on soils. FAO, 2024. URL: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/c2fcc5be-0581-4673-bb7a-348edde71011/content>
2. Уменьшать нельзя наращивать. URL: <https://www.agroinvestor.ru/analytics/article/42424-umenshat-nelzya-narashchivat>
3. Our World in Data. URL: <https://ourworldindata.org/fertilizers>
4. Федеральный закон от 16 июля 1998 г. № 101-ФЗ «О государственном регулировании обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения». URL: <https://base.garant.ru/12112328/>
5. Указ Президента РФ от 10.03.2025 г. № 141 «О внесении изменений в Доктрину продовольственной безопасности Российской Федерации, утвержденную Указом Президента Российской Федерации от 21 января 2020 г. № 20». URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202503100058>
6. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации в 2023 году. — М.: Росинформарготех, 2024. — 414 с.
7. Методические указания по проведению локального мониторинга на реперных участках (изд. 2-е, перераб. и дополн.). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200113089/titles>
8. Хомяков Д. М. Почвы и агротехнологии // Ресурсосберегающее земледелие, 2024. № 61(01). — С. 43–46.
9. Хомяков Д. М. Почва России — ее национальное достояние и важнейший ресурс роста экономики // Ресурсосберегающее земледелие, 2024. № 62(02). — С. 20–23.
10. Федеральная служба государственной статистики. URL: https://rosstat.gov.ru/enterprise_economy
11. China launches first national soil survey in 40 years. URL: <https://dialogue.earth/en/nature/china-launches-first-national-soil-survey-in-40-years/>
12. Yanguo Teng, Jin Wu, Sijin Lu, Yeyao Wang, Xudong Jiao, Liuting Song, Soil and soil environmental quality monitoring in China: A review // Environment International, 2014. V. 69. — Pp. 177–199. URL: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.04.014>
13. Чан Цинь. Охрана черноземов в Китае. URL: http://www.kitaichina.com/rzhengzhi/202401/t20240109_800354004.html
14. China to start third nationwide soil census, build 6.67m hectares high quality cropland: govt work report. URL: <https://www.globaltimes.cn/page/202203/1254004.shtml>
15. Shi G., Sun W., Shangguan W. A China dataset of soil properties for land surface modelling (version 2) // Earth System Science Data, 2025. V. 17. № 2. — Pp. 517–543. DOI: 10.5194/essd-17-517-2025. URL: <https://essd.copernicus.org/articles/17/517/2025/>
16. Fan Y., Wang X., Funk T. et al. A Critical Review for Real-Time Continuous Soil Monitoring: Advantages, Challenges, and Perspectives // Environmental Science & Technology, 2022. 56 (19). — Pp. 13546–13564. DOI: 10.1021/acs.est.2c03562
17. Soil Science Division Staff. 2017. Soil survey manual / C. Ditzler, K. Scheffe, and H.C. Monger (eds.). — Washington: USDA, 2017.

Сведения об авторах:

Каменецкая Ольга Владимировна, к.э.н., н.с., Евразийский центр по продовольственной безопасности (Аграрный центр) МГУ имени М.В. Ломоносова; e-mail: ok_kamen@mail.ru.

Шергазиев Уранбек Адиевич, д.с.-х.н., проф., проректор по научной работе, Кыргызский национальный аграрный университет им. К. И. Скрябина; г. Бишкек; e-mail: uransher@mail.ru

Ромашкин Роман Анатольевич, к.э.н., доцент, заместитель директора, Евразийский центр по продовольственной безопасности (Аграрный центр) МГУ; e-mail: ecfs.msu@gmail.com.

Влияние гетероцитных цианобактерий на рост сорго

А.В. Муравьева^{1,3}, С.Н. Еланский², д.б.н., И.А. Кутузова⁴, к.б.н.,

¹Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы

²Биологический факультет МГУ имени М. В. Ломоносова

³Институт физиологии растений им. К. А. Тимирязева РАН

⁴Факультет почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова

Цианобактерии способны к фиксации азота из воздуха и выделению биологически активных веществ. Проанализированы штаммы, выделенные из образцов цианобактериальных мат (штаммы A1A и A1B вида *Nostoc commune*) и с растений мха (A105 вида *Trichormus variabilis*) с каменистого субстрата в Антарктиде (окрестности ст. Прогресс). Штамм N5–1 (*Trichormus* sp.) был выделен из цефалодия лишайника рода *Stereocaulon*, VSBD Tr (*Trichormus variabilis*) — из цефалодия лишайника рода *Peltigera* на юге Мурманской области. Исследовано влияние цианобактерий на рост растений сорго (сорт Пищевое 3) в промытом песке без добавления азота при разных температурах и условиях полива, включая стрессовые. В оптимальных условиях температуры и влажности наилучшие результаты были отмечены в варианте с выделенным в Антарктиде штаммом A1A. В экстремальных условиях (высокие дневные температуры, засуха) лучше других росли варианты со штаммом, выделенным из лишайника рода *Stereocaulon* (N5–1). Показано, что специально подобранные для разных условий окружающей среды штаммы цианобактерий могут обеспечить увеличение прироста и повышение урожая культуры.

Ключевые слова: сорго, цианобактерии, биологические удобрения, азотфиксация, регуляторы роста.

Введение

Цианобактерии, также известные как сине-зеленые водоросли, являются важной частью агро-биоценозов. Благодаря своей широкой приспособляемости они обитают как в почве, так и в воде практически в любых климатических условиях. Важной для сельского хозяйства особенностью цианобактерий является их способность не только к фиксации азота из воздуха и производству иона аммония, но и к выделению других веществ, например фитогормонов: ауксинов [1], цитокининов [2], гиббереллинов [3], способствующих повышению урожайности культурных растений. Важной особенностью цианобактерий является их способность к понижению стресса растений от засухи [4].

Сорго является перспективной культурой, обладающей такими качествами, как устойчивость к засухе и засолению, высокие кормовые качества и продуктивность зеленой массы, а также универсальность использования на кормовые, продовольственные и технические цели [5]. Его можно выращивать в острозасушливых регионах, где существует проблема нехватки кормов [6]. Использование азотфиксирующих цианобактерий на сорго могло бы помочь справиться сразу с несколькими проблемами: обеспечить азотное питание растений, улучшить выживаемость растений на бедных и засоленных почвах и повысить урожайность и зеленую массу растений. Однако на данный момент достоверной научной информации о влиянии цианобактерий на растения сорго практически нет.

Целью работы была оценка возможности использования цианобактерий в качестве биоудобрения и/или стимулятора роста сорго. В работе изучена видовая принадлежность тестируемых штаммов цианобактерий, их способность к производству

токсичных соединений и влияние на рост растений сорго при разных условиях окружающей среды.

Объекты и методы исследования

Отбор образцов и используемые в работе штаммы. Образцы для выделения чистых культур цианобактерий отбирали в Антарктиде (окрестности станции Прогресс) и на юге Мурманской области. В Антарктиде отбирали образцы цианобактериальных мат с каменистого субстрата, из них были выделены штаммы A1A и A1B. Штамм A105 был выделен в том же месте, но с растения мха. Штамм N5–1 был выделен из цефалодия лишайника рода *Stereocaulon*, а штамм VSBD Tr — из цефалодия лишайника рода *Peltigera* на юге Мурманской области. Антарктические штаммы устойчивы к засухе и экстремальным температурам и способны вступать в симбиоз с растениями [7]. Штаммы, выделенные из цефалодиев лишайников, растущих на крайне бедных каменистых субстратах, предположительно отобраны в процессе эволюции как симбионты, способные к активной азотфиксации [8].

Выделение чистых культур и культивирование цианобактерий. Образец размачивался в дистиллированной воде. Далее, под бинокулярном, отделялась часть образца, представляющая наибольший интерес. Частицы образца размером 1–2 мм помещались на стерильную чашку Петри с твердой средой BG-11-N (модификация, не содержащая азот) [9]. Отсутствие глюкозы и азота в составе среды позволяет подавить рост микроорганизмов, не способных к автотрофному питанию и азотфиксации. Через 14–21 суток инкубации при температуре 25°C, освещении белым светом 40 мкмоль фотонов·м²/с и фотопериодизме 16/8 вокруг образцов можно было заметить образование колоний цианобактерий. Данные колонии

отсаживали на отдельную чашку Петри. В случае присутствия сопутствующей микробиоты колонии под бинокулярным микроскопом пересаживали на новые чашки.

Культуры цианобактерий выращивали в колбах по 50 мл в фотоавтотрофных условиях в жидкой минеральной среде BG-11 без азота [9] на качалке в течение 14 дней при 25°C при постоянном освещении белым светом 40 мкмоль фотонов·м²/с и фотопериодизме 16/8.

Определение видовой принадлежности. Морфологическое определение штаммов было проведено с использованием определителя "Cyanoprocarvota" [10] и базы данных AlgaeBase [11]. Для анализа использовали микроскоп Zeiss Axio Scope A1, увеличение 100х.

Определение видовой принадлежности по последовательностям ДНК участка 16S рРНК [12] проводили в Отделе молекулярной систематики водных растений и альгозоинжиниринга ИФР РАН. ДНК выделяли при помощи ионообменной смолы Chelex 100 (Bio-Rad, Калифорния, США). Праймеры и условия амплификации указаны в *табл. 1*.

Результаты ПЦР визуализировали при помощи гель-электрофореза на 1% геле с красителем SYBRTM Safe (Life Technologies, Carlsbad, Калифорния, США). Очистку ПЦР-продукта проводили с использованием набора FastAP (Thermo Fisher Scientific, Waltham, Мэрилэнд, США). Полученный очищенный продукт секвенировали по методу Сэнгера с использованием Genetic Analyzer 3500 (Applied Biosystems, Waltham, Мэрилэнд, США) в компании Синтол (г. Москва).

Полученные последовательности редактировали с использованием программ Ridom TraceEdit 1.1.0 (Ridom GmbH, Münster, Германия) и Mega X. В качестве референтных в выборку были включены представители других видов цианобактерий порядка Nostocales. Видовые названия референтных штаммов и номера депонированных в GenBank

NCBI последовательностей приведены на дендрограмме. В качестве внешней группы была взята последовательность гена 16S рРНК цианобактерии *Gloeobacter* sp.

Набор данных был проанализирован с использованием метода байесовского вывода (BI) в программе BEAST [13]. Для набора данных в программе jModelTest 2.1.10 [14, 15] с использованием BIC была подобрана модель замещения нуклеотидов K80+I+G. Филогенетическое дерево визуализировано в программе FigTree [16].

Выявление генов, кодирующих цианотоксины. Чтобы исключить возможный риск, связанный с токсичностью применяемых штаммов, у тестируемых штаммов проводили поиск генов, кодирующих цианотоксины микроцистин-LR и нодуларин-F. Праймеры [17] и условия амплификации приведены в *табл. 2*.

Эксперименты по выращиванию растений сорго в присутствии цианобактерий. Перед проведением экспериментов была проанализирована всхожесть семян. Всхожесть оценивали в кюветах, закрытых сверху стеклом. На дно кювет была помещена смоченная водой фильтровальная бумага. Инкубировали при 25°C в течение 4 суток. Перед раскладкой в кюветы семена выдерживали 3 минуты в растворе перманганата калия бардового цвета, после чего семена промывали в стерильной дистиллированной воде. В каждую кювету раскладывали по 25 семян, всего использовали 4 кюветы. Учитывали все проросшие семена. Оценка всхожести показала, что из 100 помещенных в кюветы семян проросли здоровыми ростками 88, то есть всхожесть составила 88%.

Для выращивания растений сорго (сорт Пищевое 3) использовали контейнеры объемом 750 мл, в каждый из которых помещали 1 кг промытого песка марки БОЛАРС. В каждый контейнер было помещено по 6 семян сорго на глубину 1 см. Перед посадкой семена стерилизовали перманганатом калия.

Таблица 1

Праймеры и условия ПЦР для амплификации участка 16s рРНК

Название праймера	Последовательность	Условия амплификации
359F	5' GGGGGATTTCCGCAATGGG 3'	94 °C — 5 мин; 35 циклов: 94 °C — 1 мин, 59 °C — 1 мин, 72 °C — 2 мин, 72 °C — 5 мин
1467R	5' AAGGAGGTGATCCAGCCACA 3'	

Таблица 2

Праймеры и условия ПЦР для амплификации генов, кодирующих цианотоксины

Название токсина	Название праймера	Последовательность	Условия амплификации
Микроцистин-LR, Нодуларин-F	HEPF	5' TTTGGGGTTAACTTTTGGGCATAGTC 3'	92°C — 2 мин; 35 циклов: 92°C — 20 сек, 52°C — 30 сек, 72°C — 1 мин, 72°C — 5 мин
	HEPR	3' AACCCGATTTACAGCCTCAAGAATT 5'	

натом калия как описано выше. На каждый вариант эксперимента использовали по 3 контейнера. Через неделю после закладки опыта в почву было поверхностно внесено по 5 мл культуры цианобактерий. В качестве контроля использовали среду BG-11 без азота и цианобактерий. Также был предусмотрен второй контрольный вариант с добавлением NaNO_3 в концентрации 1,5 г/л. Морфометрические показатели учитывали после уборки растений.

Эксперимент 1. Температура воздуха в отсеке оранжереи во время проведения опыта составляла 18–28°C. Опыт был проведен в трех повторностях. Растения поливали два раза в неделю по 150 мл, и один раз в неделю вместе с поливом в качестве удобрения вносили 25 мл среды BG-11 без азота. Уборку растений проводили на 24 сутки.

Эксперимент 2. Температура воздуха в отсеке оранжереи в течение эксперимента варьировала от 20°C ночью до 40°C днем в солнечные дни. Количество поливов было увеличено с двух до трех раз в неделю. Для оценки выживаемости всходов во время засухи на вторую неделю после посадки количество вносимой при поливе воды было сокращено в три раза (со 150 мл до 50 мл). Через неделю режим полива был возобновлен. Уборку и учеты проводили на 30 сутки.

Эксперимент 3. Количество растений на контейнер в данном опыте было сокращено с 6 до 4. Температура воздуха в теплице во время проведения опыта составляла 25–45°C. Полив проводили три раза в неделю по 150 мл. Уборку и учеты проводили на 36 сутки.

При уборке опыта для каждого растения учитывали высоту (по максимальному листу), сумму длин листьев и корней. Сухую биомассу в опыте 1 учитывали для каждого растения, в опытах 2 и 3 взвешивали всю убранную биомассу, после чего полученную сумму делили на количество растений. Поэтому для биомассы в экспериментах 2 и 3 ошибка среднего не посчитана.

Расчет доверительного интервала среднего (μ) производился следующим образом:

$$\bar{X} - t \frac{s}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{X} + t \frac{s}{\sqrt{n}},$$

где: $\bar{X}$ — среднее значение; s — стандартное отклонение; n — число наблюдений; t — константа t -теста для уровня значимости 95%. Все расчеты проводились в программе Excel 2010.

Результаты

Анализ видовой принадлежности

Морфологический анализ. Штамм N5–1: клетки бочкообразные, стянутые на перегородках, длина больше ширины: 2,9–3,2 мкм в ширину, от 2,8 до 7,9 мкм в длину. Слизистые чехлы отсутствуют. Гетероцисты от бочкообразных до шаровид-

ных, акинеты в культуре не образует. Как в вегетативных клетках, так и в гетероцистах присутствуют 1–2 крупных гранулы в центре клетки.

Штамм VSBD Tr: клетки бочкообразные, стянутые на перегородках, 2,2–2,8 мкм в ширину, 2,5–2,8 мкм в длину. Слизистые чехлы отсутствуют. Гетероцисты от бочкообразных до сферических, акинеты в культуре не образует. В вегетативных клетках встречаются 1–3 мелкие гранулы, чаще ближе к стенке клетки.

Штамм A106: клетки бочкообразные, стянутые на перегородках, 2,7–3,4 мкм в ширину, 3,7–6,7 мкм в длину. Слизистые чехлы отсутствуют. Гетероцисты от бочкообразных до сферических, акинеты в культуре не образует. В вегетативных клетках мелкие гранулы, преимущественно у стенки клетки. Редко встречается по 1 крупной грануле в центре клетки.

Штамм A1A: клетки сферические, реже бочкообразные, от 3 до 4 мкм в диаметре. Гетероцисты сферические, акинет в культуре не образует. Образует плотные слизистые чехлы. На твердой среде образует сферические желеобразные колонии, в жидкой среде колонии бесформенные. Нити в колониях скручены очень плотно. В вегетативных клетках по 1 крупной грануле в центре клетки.

Штамм A1B: клетки сферические, реже бочкообразные, от 3 до 4 мкм в диаметре. Гетероцисты сферические, акинет в культуре не образует. Образует плотные слизистые чехлы. На твердой среде образует сферические желеобразные колонии, в жидкой среде колонии бесформенные. Нити в колониях скручены несколько более рыхло, чем у штамма A1A. В вегетативных клетках по 1 крупной грануле в центре клетки.

Микрофотографии, полученные при морфологическом анализе штаммов, приведены на *рис. 1*.

Филогенетический анализ. Филогенетический анализ проводился по последовательностям ДНК участка 16S rPHK, амплифицированным с помощью праймеров 359F/1467R. После выравнивания последовательностей была построена филограмма (*рис. 2*).

На филограмме штаммы N5–1, VSBD Tr и A105 формируют кладу с представителями родов *Trichormus*, *Anabaena*, *Dolichospermum* и *Pseudoanabaena*. Штаммы VSBD Tr и A105 находятся в одной кладе с несколькими штаммами *Trichormus variabilis*. Штамм N5–1 обособляется, для определения его видовой (и родовой) принадлежности необходимы дальнейшие исследования и анализ других последовательностей ДНК. Штаммы A1A и A1B формируют устойчивую, хорошо поддерживаемую кладу с другими штаммами вида *Nostoc commune*.

Определение по морфологическим критериям и по структуре участков ДНК показывает, что тестируемые виды принадлежат родам *Trichormus* и *Nostoc*. Согласно тесту по структуре ДНК штам-

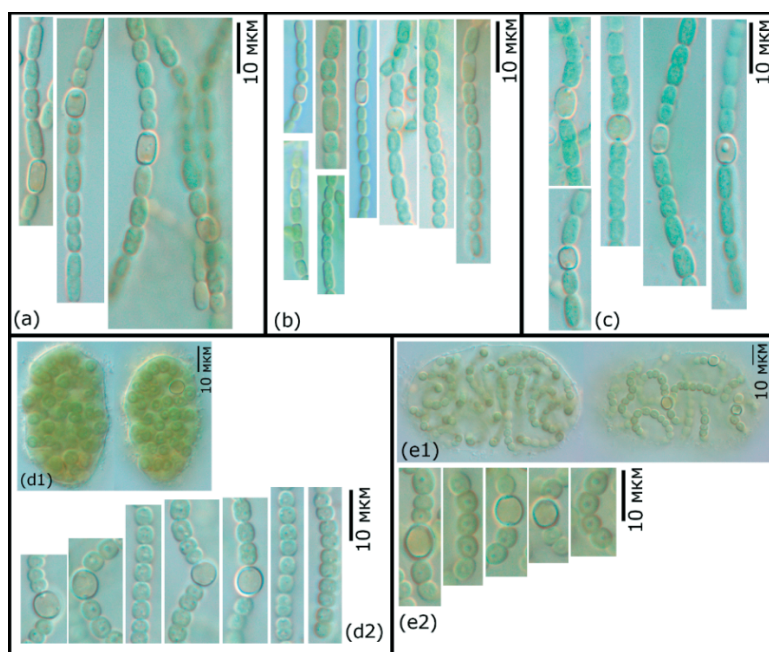


Рис. 1. Микрофотографии участков нитей используемых штаммов цианобактерий, увеличение 100х, иммерсионный объектив: (a) N5-1; (b) VSD Tr; (c) A105; (d1) A1A, колония, (d2) отдельные участки нитей; (e1) A1B, колония, (e2) отдельные участки нитей

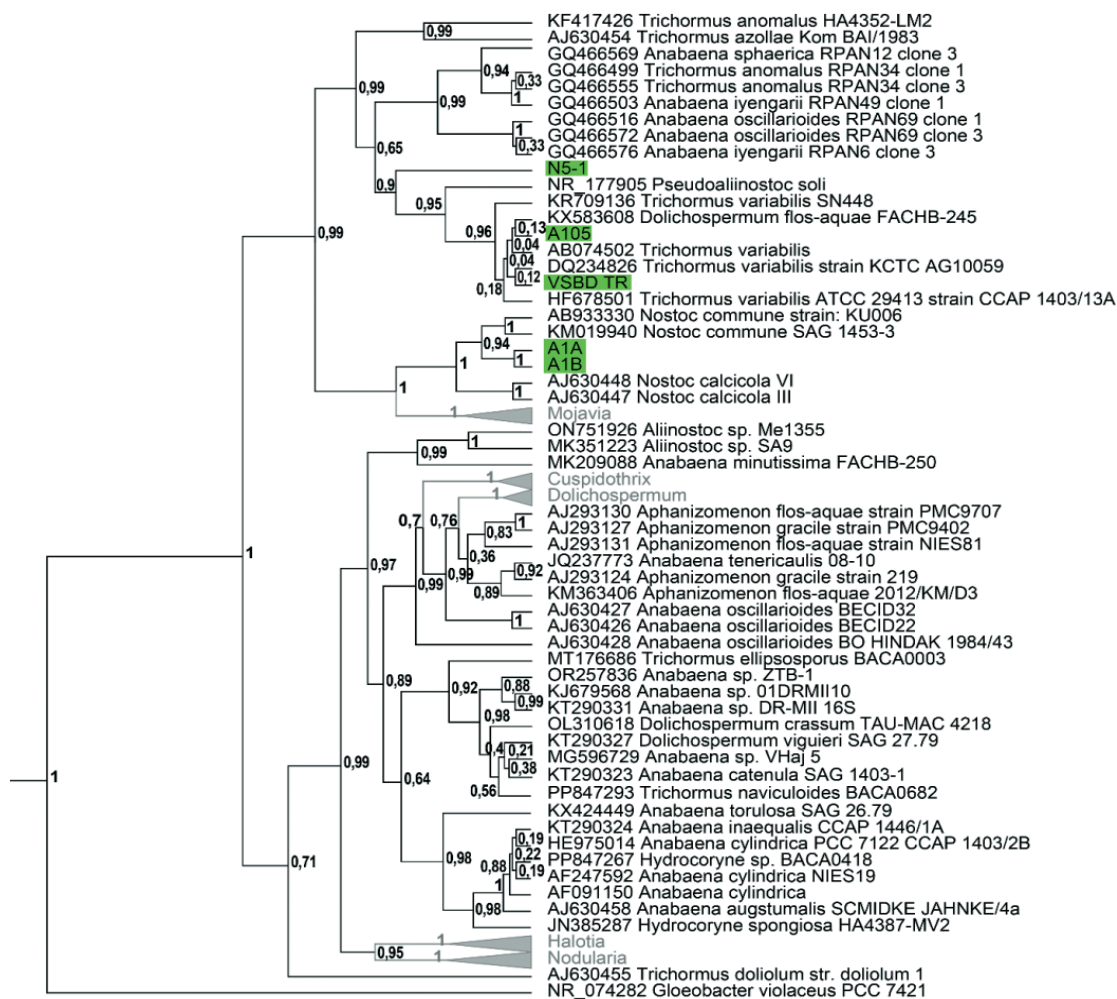


Рис. 2. Филогенетическое дерево по результатам анализа методом байесовского вывода (BI). Указаны постериорные статистические значения поддержки. Используемые в работе штаммы отмечены на дереве зеленым цветом

Таблица 3

Видовая принадлежность и номера депонированных последовательностей

Название штамма	Вид	Номер последовательности в GenBank	Откуда выделен
N5—1	<i>Trichormus</i> sp.	PV448302	Из цефалодиев лишайника рода <i>Stereocaluon</i> , Мурманская обл.
VSBD Tr	<i>Trichormus variabilis</i>	PV535519	Из цефалодиев лишайника рода <i>Peltigera</i> , Мурманская обл.
A105	<i>T. variabilis</i>	PV588046	С мха, ст. Прогресс, Антарктида
A1A	<i>Nostoc commune</i>	PV346753	Из биопленки, ст. Прогресс
A1B	<i>N. commune</i>	PV346754	Из биопленки, ст. Прогресс

мы A105 и VSBD TR кластеризуются и с родом *Dolichospermum*. Однако принадлежность к роду *Dolichospermum* предполагает наличие азротопо [10], которых у наших штаммов не было отмечено. Штамм 5—1 на филограмме находится обособленно, между видами родов *Trichormus* и *Anabaena*. По морфологическим критериям он ближе к *Trichormus*, но точному отнесению к тому или иному роду мешает отсутствие в культуре акинет. Предполагаемая по результатам обоих тестов видовая принадлежность анализируемых штаммов приведена в табл. 3.

Выявление генов, кодирующих цианотоксины. В результате ПЦР-анализа с праймерами NEPF/ NEPR ни в одном из используемых штаммов не было обнаружено ампликонов, соответствующих участкам генов, кодирующих токсины. В образце отрицательного контроля (K—, без ДНК) не было выявлено ПЦР-продукта. В образце позитивного контроля (K+) использовали достоверно токсичный штамм *Microcystis aeruginosa* CALU 972 из Коллекции цианобактерий, водорослей и паразитов водорослей Ресурсного центра «Культивирование микроорганизмов» СПбГУ. В положительном контроле выявлен ампликон размером 472 пар оснований. На основании проведенного ис-

следования не выявлены гены, кодирующие токсины цианотоксины микроцистин-LR и нодулярин-F (рис. 3).

Эксперименты по выращиванию растений сорго в присутствии цианобактерий

Эксперимент 1. Влияние различных штаммов цианобактерий на морфометрические показатели сорго в оптимальных условиях роста. В первом эксперименте растения росли при оптимальных температурно-влажностных условиях. До уборки дожили практически все взошедшие растения (табл. 4). Всхожесть примерно соответствовала тесту во влажных камерах, которая составляла 88%. Более низкая всхожесть отмечена в вариантах со штаммами VSBD Tr (77%) и A1A (75%). Уборка была проведена довольно рано, примерно через 17 суток после всходов (24 сутки после посадки). Большинство растений к окончанию эксперимента имели по 4 листа, максимальная высота варьировала от 110 мм (контроль без азота) до 190 мм (вариант со штаммом A1A). При таком небольшом сроке вегетации наличие усваиваемого растениями азота (вариант KN) существенного влияния на развитие надземной части не оказало. Однако выделенный из биопленки штамм A1A оказал стимулирующее влияние на развитие как надземной, так и подземной частей. Штамм Tr оказал небольшое стимулирующее влияние на рост корней, но прирост надземной биомассы был при этом замедлен. Максимальное накопление сухой биомассы отмечено в вариантах со штаммами A105, N5—1 и A1A, а также в контроле с добавлением азота (KN) (рис. 4).

Эксперимент 2. Влияние различных штаммов цианобактерий на морфометрические показатели сорго при повышенной температуре и недостатке влаги. Уменьшение объема поливной воды в фазу всходов привело к гибели части растений (табл. 4). В варианте со штаммом A105 после искусственной засухи выжило только одно растение, в варианте со штаммом A1B — 4 растения, в вариантах K, Tr и N5—1 — по 5 растений, в вариантах KN и A1A — по 6 растений. Максимальный рост как надземной, так и подземной частей растений отмечен в вариантах Контроль с азотом и со штаммом N5—1 (рис. 5). Несколько

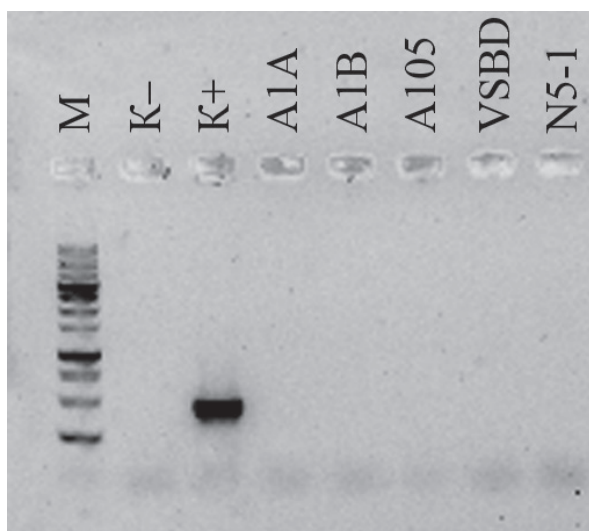


Рис. 3. Визуализация результатов амплификации участков генов, кодирующих токсины Микроцистин-LR и Нодулярин-F. М — маркер 1 kb DNA Ladder (Евроген, Россия)

Таблица 4

Число растений в экспериментах

Вариант (штамм)	Эксперимент 1		Эксперимент 2		Эксперимент 3	
	семян посажено, шт.	дожило до учета, шт. / %	семян посажено, шт.	дожило до учета, шт. / %	семян посажено, шт.	дожило до учета, шт. / %
К	18	17 / 94	18	5 / 28	12	8 / 67
KN	18	16 / 89	18	6 / 33	12	8 / 67
N5-1	18	17 / 94	18	5 / 28	12	5 / 67
VSD Tr	18	14 / 77	18	5 / 28	12	10 / 83
A105	18	15 / 83	18	1 / 6	12	9 / 75
A1A	12*	9 / 75	18	6 / 33	12	9 / 75
A1B	18	16 / 89	18	4 / 22	12	9 / 75

* — один контейнер с 6 растениями был уничтожен на фазе всходов.

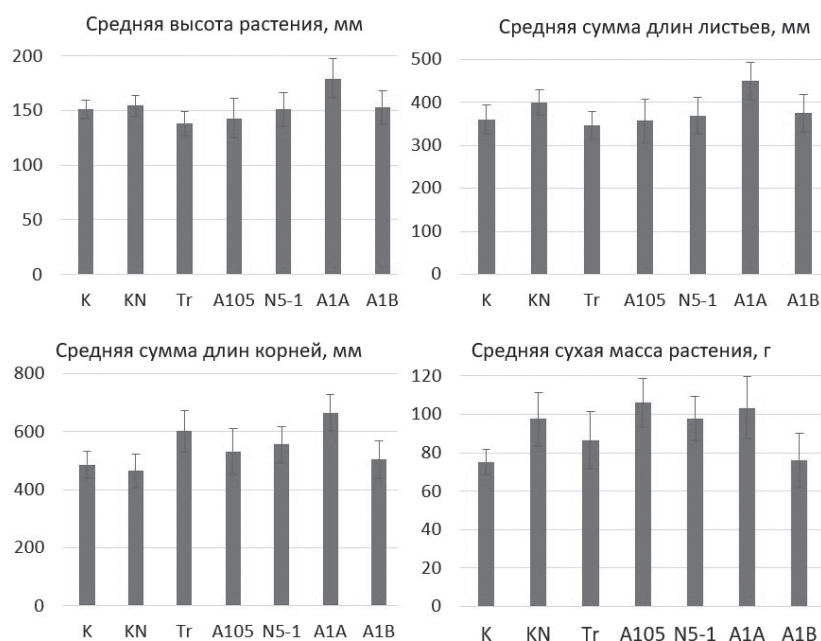


Рис. 4. Морфометрические показатели сорго в оптимальных условиях температуры и влажности почвы (эксперимент 1). Планки погрешностей показывают доверительный интервал среднего при уровне значимости 95%

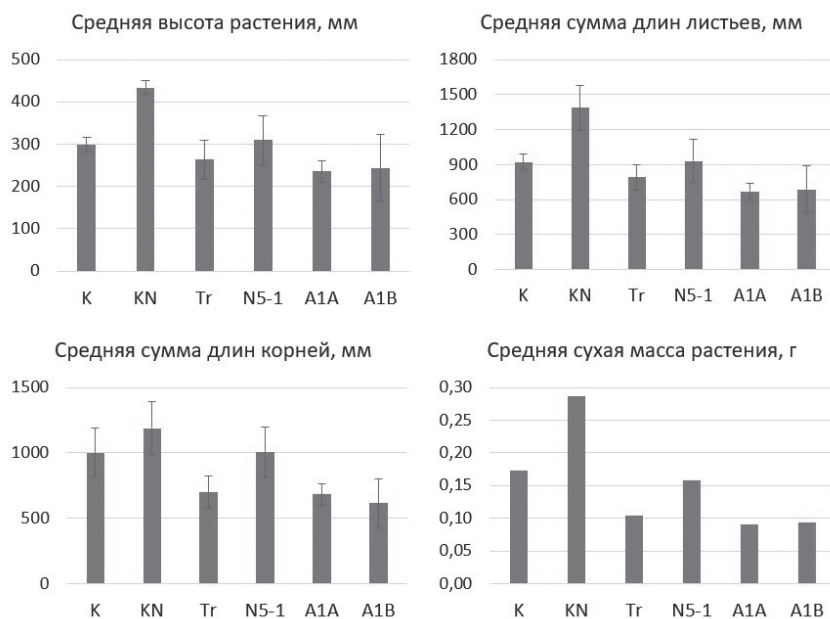


Рис. 5. Влияние различных штаммов цианобактерий на морфометрические показатели растений сорго при повышенной температуре и недостатке влаги (эксперимент 2)

медленнее развивались растения в варианте Контроль без азота. В вариантах Tr, A1A и A1B растения развивались даже хуже, чем на Контроле без азота. По-видимому, эти штаммы в условиях повышенной температуры и недостатка влаги ингибировали рост растений. Штамм A1A в эксперименте 1 показал стимулирующее влияние на рост растений. Возможно, стимулирующий эффект в условиях стресса оказал отрицательное влияние.

Эксперимент 3. Влияние различных штаммов цианобактерий на морфометрические показатели сорго при повышенной температуре и оптимальном поливе. Всхожесть и выживаемость растений при повышенной температуре были существенно ниже, чем в эксперименте 1. Максимальное развитие как надземной, так и подземной частей растений, а также увеличение сухой биомассы отмечалось в вариантах Контроль с азотом и в присутствии штамма N5–1. Развитие растений в других вариантах статистически достоверно не отличалось от Контроля без азота. По всем показателям вариант со штаммом A105 отставал от Контроля без азота (рис. 6).

Обсуждение

Цианобактерии порядка *Nostocales* способны в естественных условиях вступать в симбиоз с широким спектром высших растений [18]. Их положительное влияние на рост риса было доказано многими исследованиями начиная с 70-х гг. XX в. [19] и широко используется в Индии и Китае [20].

Исследования цианобактерий на суходольных зерновых также подтверждают их фитостимулирующий эффект. В основном опыты проводились в лабораторных условиях и исследовались рас-

тения на этапе всходов. В опыте, проведенном Е.В. Коваль и др. [21], инокуляция ячменя *Nostoc muscorum* приводила к увеличению длины побега и ширины листьев. С. А. Емелевым [22] были получены неоднозначные результаты: смесь цианобактерий *Fischerella muscicola*, *Nostoc paludosum*, *N. linckia*, *Microchaeta tenera* оказывала слабое ингибирующее действие на энергию прорастания и всхожесть растений ячменя, однако способствовала формированию лучшей корневой системы. В опыте Ю. Бачуры [23] культура *Nostoc* sp., разбавленная 1:1 средой Болда показала хорошее влияние на длину побегов и корней растений пшеницы, но оказала неоднозначное влияние на их массу. Обработка семян кукурузы монокультурами *Microcystis aeruginosa* и *Anabaena* sp. приводила к уменьшению времени прорастания и усилению процессов метаболизма проростков [24].

Исследований, проведенных на взрослых растениях суходольных злаков, намного меньше. В опыте, проведенном А. Hussain et al. [25] штаммы цианобактерий *Anabaena* sp. Ck1, *Oscillatoria* sp. Ck2, *Phormidium* sp. Ck3, *Chroococcidiopsis* sp. Ck4 и *Synechocystis* sp. Ck5 были протестированы на пшенице при инокуляции семян культурой и привели к увеличению всхожести семян, длины побега, интенсивности кущения и образования корней, длины колоса и массы зерна. В умеренном климате в полевых исследованиях С. А. Емелева (2019) [26] на ячмене обработка препаратом из смеси культур цианобактерий *Fischerella muscicola*, *Nostoc paludosum*, *N. linckia*, *Microchaeta tenera* приводила к увеличению длины колоса и стебля, однако не влияла на продуктивность. В исследовании Solomon et al [27] сочетание *Nostoc piscinale*

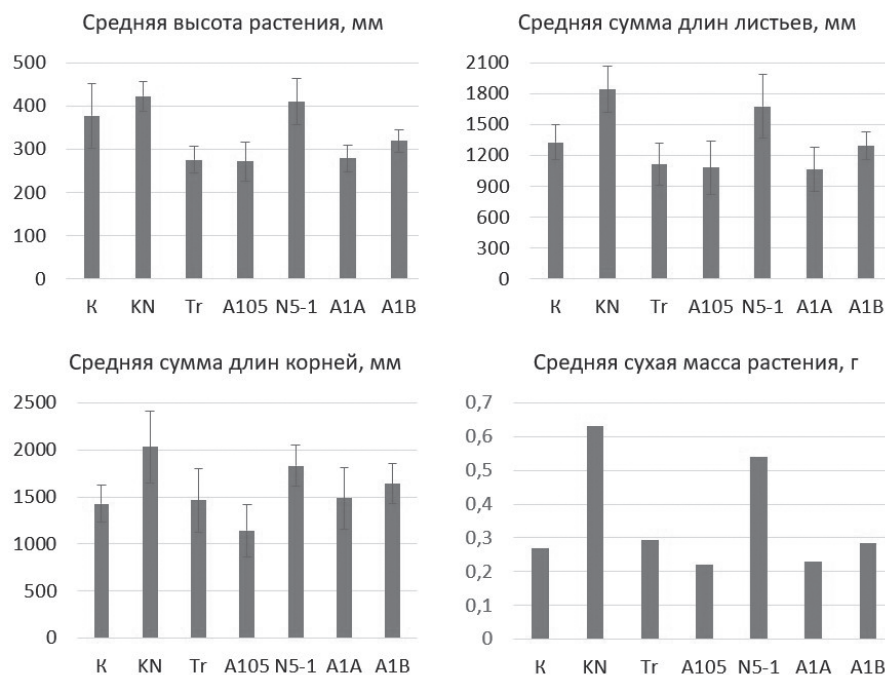


Рис. 6. Влияние различных штаммов цианобактерий на морфометрические показатели растений сорго при повышенной температуре и оптимальном поливе (эксперимент 3)

и бактерии *Azospirillum lipoferum* положительно повлияло не только на рост, но и на урожайность кукурузы.

В исторических районах выращивания сорго (ЮАР [28], Индонезия [29]) гетероцитные цианобактерии являются естественной частью ризосферного бактериального сообщества корней. Тем не менее исследований о возможности использования цианобактерий в качестве биоудобрений на сорго немного и ограничиваются они, в основном, изучением прорастания семян. Так, в исследовании A. Suresh et al. [30] было протестировано влияние веществ, выделяемых *Anabaena variabilis* и *Nostoc calcicola* на зерновые культуры в лабораторных условиях. Использовалась не живая культура, а экстракты, полученные после гомогенизации и центрифугирования. В данном опыте сорго, обработанное выделенными *A. variabilis* веществами при концентрации исходной культуральной жидкости в 500 мг/мл показало 100% всхожесть и наибольшую массу среди всех вариантов. Анализ жидкости также показал наличие в ней гетероауксинов, что может объяснять ростостимулирующие свойства. С другой стороны, исследования по проращиванию обработанных экстрактами

цианобактерий *Trichormus variabilis*, *Anabaena sp.*, *Nostoc cf. edaphicum* семян сахарного сорго не дали статистически значимых результатов Mazur- Marzec et al. [31].

Заключение

Полученные нами данные свидетельствуют о неоднозначности влияния цианобактерий на растения сорго. Эффект стимуляции или ингибирования роста сильно зависит от условий окружающей среды и является штаммоспецифичным признаком. В оптимальных условиях для роста сорго (эксперимент 1) наилучшие результаты отмечены в варианте с выделенным из Антарктической биопленки штаммом A1A *Nostoc commune*. В экстремальных условиях (эксперименты 2 и 3) лучше других был вариант со штаммом N5-1 *Trichormus sp.*, выделенным из лишайника рода *Stereocaulon*, выросшего в Карелии. Необходимы дальнейшие исследования урожайности и морфометрических показателей растений в присутствии различных штаммов цианобактерий в разных условиях выращивания.

Работа поддержана грантом Минобрнауки России (соглашение № 075–15-2021–1396).

Литература

1. Suresh A., Soundararajan S., Elavarasi S., Lewis O. F., Thajuddin N. Evaluation and characterization of the plant growth promoting potentials of two heterocystous cyanobacteria for improving food grains growth // Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 2019. V. 17. — Pp. 647–652. DOI: 10.1016/j.bcab.2019.01.002.
2. Uniyal S., Bhandari Km., Singh Preeti., Singh Rahul, Tiwari S. Cytokinin biosynthesis in cyanobacteria: Insights for crop improvement // Frontiers in Genetics, 2022. V. 13. DOI: 10.3389/fgene.2022.933226.
3. Rodríguez A. A., Stella A. M., Storni M. M., Zulpa G., Zaccaro M. C. Effects of cyanobacterial extracellular products and gibberellic acid on salinity tolerance in *Oryza sativa* L. // Saline Syst, 2006 Jun 6. V. 2. Iss 7. DOI: 10.1186/1746–1448-2–7.
4. Manchanda H. Influence of cyanobacterial filtrate on growth of rice seedlings under saline conditions // IJRAR, 2018. V. 5. — Pp. 19–22.
5. Шенель Н. А. Сорго. — Волгоград: Комитет по печати, 1994. — 448 с
6. Метлина Г. В., Горпиниченко С. И., Ковтунова Н. А., Васильченко С. А. Агроэнергетическая эффективность возделывания новых сортов и гибридов сорго сахарного // Научный журнал КубГАУ, 2015. № 114.
7. Dodds W. K., Gudder D. A., Mollenhauer D. The ecology of nostoc // J. of Phycology, 1995. 31(1). Pp. 2–18. DOI:10.1111/j.0022–3646.1995.00002.x
8. Bustos-Díaz E. D., Barona-Gómez F., Cibrián-Jaramillo A. Cyanobacteria in nitrogen-fixing symbioses // Cyanobacteria. — Academic Press, 2019. — Pp. 29–42.
9. Stainer R. Y., Kunisawa R., Mandel M., Cohen-Bazire G. Purification and properties of unicellular blue-green algae (order Chroococcales) // Bacteriological Reviews, 1971. V. 35 — Pp. 171–205.
10. Komárek J. Süßwasserflora von Mitteleuropa, Bd. 19/3: Cyanoprokaryota 3. Teil/3rd part: Heterocystous Genera // Süßwasserflora von Mitteleuropa. — Spektrum Akademischer Verlag: Heidelberg, 2013.
11. AlgaeBase: сайт. URL: <https://www.algaebase.org/>
12. Nübel U., Garcia-Pichel F., Muyzer G. PCR primers to amplify 16S rRNA genes from cyanobacteria // Applied and Environmental Microbiology, 1997. V. 63. № 8. — Pp. 3327–3332.
13. Drummond A. J. et al. Bayesian phylogenetics with BEAUti and the BEAST 1.7 // Molecular biology and evolution, 2012. V. 29. № 8. — Pp. 1969–1973.
14. Darriba D. et al. jModelTest 2: more models, new heuristics and parallel computing // Nature methods, 2012. V. 9. № 8. — Pp. 772–772.
15. Guindon S., Gascuel O. A simple, fast, and accurate algorithm to estimate large phylogenies by maximum likelihood // Systematic biology, 2003. V. 52. № 5. — Pp. 696–704.
16. Rambaut A. FigTree: сайт., 2003. URL: <https://tree.bio.ed.ac.uk/software/figtree/>
17. Jungblut A. D., Neilan B. A. Molecular identification and evolution of the cyclic peptide hepatotoxins, microcystin and nodularin, synthetase genes in three orders of cyanobacteria // Archives of microbiology, 2006. V. 185. — Pp. 107–114.
18. Meeks J. C. Symbiosis between nitrogen-fixing cyanobacteria and plants // BioScience, 1998. V. 48. № 4. — Pp. 266–276.
19. Watanabe I. Nitrogen Fixation in Wetland Rice Field, 1984.
20. Шалыго Н. Микроводоросли и цианобактерии как биоудобрение // Наука и инновации, 2019. Т. 3. — С. 193.
21. Коваль Е. В., Огородникова С. Ю. Влияние цианобактерий и лигногумата на рост и биохимические показатели растений ячменя // Агрохимия, 2021. V. 6. — Pp. 65–72. DOI: 10.31857/S0002188121030108

22. Емелев С.А., Помелов А.В., Новоселов А.В. Влияние микробиологических препаратов на развитие ярового ячменя сорта Нур // Экология родного края: проблемы и пути решения : Сб. матер. Всероссийской конф. (Киров, 28–29 апреля 2016 г.). Кн. 1 — Киров: ВГУ, 2016. — С. 179–183.
23. Бачура Ю.М., Ганжур Е.Н. Влияние культуральной жидкости почвенных цианобактерий рода *Nostoc* на рост и развитие семян пшеницы // Клеточная биология и биотехнология растений : Тезисы докладов II Междун. конф. (Минск, 28–31 мая 2018). — Минск: БГУ, 2018. — С. 96.
24. Grzesik M., Romanowska-Duda Z. Improvements in germination, growth, and metabolic activity of corn seedlings by grain conditioning and root application with cyanobacteria and microalgae // Pol. J. Environ. Stud., 2014. V. 23. Iss. 4. — Pp. 1147–1153.
25. Hussain A., Hasnain S. Phytostimulation and biofertilization in wheat by cyanobacteria // J. of Industrial Microbiology and Biotechnology, 2011. V. 38. № 1. — Pp. 85–92.
26. Емелев С.А., Помелов А.В., Черемисинов М.В., Дудин Г.П. Влияние биопрепаратов на яровую ячмень Белгородский 100 // Экология родного края: проблемы и пути их решения : Матер. XIV Всеросс. конф. (Киров, 16–18 апреля 2019). — Киров: ВГУ, 2019. — С. 203–208.
27. Solomon W., Mutum L., Rakszegi M., Janda T., Molnár Z. Harnessing the Synergy of the Cyanobacteria-Plant Growth Promoting Bacteria for Improved Maize (Zea mays) Growth and Soil Health // Sustainability, 2023. V. 15. — Pp. 16660.
28. Ramond J.B., Tshabuse F., Bopda C.W. et al. Evidence of variability in the structure and recruitment of rhizospheric and endophytic bacterial communities associated with arable sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L) Moench) // Plant Soil, 2013. V. 372. — Pp. 265–278. DOI: /10.1007/s11104-013-1737-6.
29. Purbani D.C. Cyanobacteria from Sorghum bicolor-Grown Fields of Ecopark at Cibinong Science Center-Botanic Gardens, Indonesia // Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR): Prospects for Sustainable Agriculture. — Singapore: Springer. DOI: 10.1007/978-981-13-6790-8_7.
30. Suresh A. et al. Evaluation and characterization of the plant growth promoting potentials of two heterocystous cyanobacteria for improving food grains growth // Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 2019. V. 17. — Pp. 647–652.
31. Mazur-Marzec H. et al. Baltic cyanobacteria — a source of biologically active compounds // European J. of Phycology, 2015. V. 50. Iss. 3. — Pp. 343–360. DOI: 10.1080/09670262.2015.1062563.

Сведения об авторах:

Муравьева Анастасия Васильевна, магистр Аграрно-технологического института РУДН им. Патри-са Лумумбы; инженер Лаборатории молекулярной систематики водных растений Института физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН; e-mail: murav722@gmail.com.

Еланский Сергей Николаевич, д.б.н., в.н.с. кафедры микологии и альгологии биологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, проф. Аграрно-технологического института Российского универси-тета дружбы народов; e-mail: snelansky@mail.ru.

Кутузова Ирина Алексеевна, к.б.н., научный сотрудник кафедры земледелия и агроэкологии факуль-тета почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова; e-mail: iakut.msu@gmail.com.

Короткие сообщения

Итоги выборов по Отделению сельскохозяйственных наук РАН

30 мая на Общем собрании Российской академии наук были подведены итоги выборов в члены РАН.

В академии избраны 84 человека, членами-корреспондентами РАН стали 165 учёных. Также было избрано 39 ино-странных членов РАН.

Академиками по Отделению сельскохозяйственных наук РАН избраны: Плугатарь Юрий Владимирович — зем-леделие, мелиорация, водное и лесное хозяйство; Аблова Ирина Борисовна — растениеводство, защита и биотехнология растений; Забережный Алексей Дмитриевич — зоотехния и ветеринария; Брюханов Александр Юрьевич — механизация, электрификация и автоматизация сельского хозяйства; Кочеткова Алла Алексеевна — хранение и переработка сельскохо-зяйственной продукции.

Членами-корреспондентами по ОСХН РАН избраны: Маслова Влада Вячеславовна — экономика сельского хозяй-ства; Цыпкин Юрий Анатольевич — экономика сельского хозяйства; Алферов Алексей Анатольевич — земледелие, мели-орация, водное и лесное хозяйство; Беляев Александр Иванович — земледелие, мелиорация, водное и лесное хозяйство; Бочарников Виктор Сергеевич — земледелие, мелиорация, водное и лесное хозяйство; Лукин Сергей Викторович — земле-делие, мелиорация, водное и лесное хозяйство; Болотов Андрей Геннадьевич — земледелие, мелиорация, водное и лесное хозяйство; Долженко Татьяна Васильевна — растениеводство, защита и биотехнология растений; Салина Елена Артемовна — растениеводство, защита и биотехнология растений; Жевора Сергей Валентинович — растениеводство, защита и биотех-нология растений; Хлесткина Елена Константиновна — растениеводство, защита и биотехнология растений; Комаров Алек-сандр Анатольевич — зоотехния и ветеринария; Котарев Вячеслав Иванович — зоотехния и ветеринария; Полябин Сергей Владимирович — зоотехния и ветеринария; Смирнов Игорь Геннадьевич — механизация, электрификация и автоматизация сельского хозяйства; Сибирев Алексей Викторович — механизация, электрификация и автоматизация сельского хозяйства; Ценч Юлия Сергеевна — механизация, электрификация и автоматизация сельского хозяйства; на вакансию для Сибирского отделения РАН Готов Александр Гаврилович — ветеринария.

Иностранцами членами по ОСХН РАН избраны: Исмаилизаде Али (Иран) — зоотехния и ветеринария; Лю Цзиншэн (КНР) — растениеводство, защита и биотехнология растений; Хань Тяньфу (КНР) — растениеводство, защита и биотехноло-гия растений; Яковчик Николай Степанович (Белоруссия) — экономика сельского хозяйства.

Аграрный центр МГУ

Почвы

EDN OFFCZG

УДК 631.42

Скорость и ускорение почвенных процессов (первая и вторая производные от почвообразования)

О.А. Макаров^{1,2,3}, д.б.н., В.В. Демидов¹, д.б.н., Д.Р. Абдулханова¹, Е.Н. Есафова¹

¹Факультет почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова

²УО ПЭЦ МГУ им. М.В. Ломоносова

³Евразийский центр по продовольственной безопасности (Аграрный центр МГУ)

Показано, что изменение состояния почв во времени в пределах одного этапа их многоэтапной эволюции, как правило, описывается логистическим уравнением. Дифференцирование функции состояния S от времени t позволяет получить представление о скорости dS/dt и ускорении d^2S/dt^2 процессов почвообразования. Точки перегиба на графике состояния почвы становятся точками экстремумов на графиках производных от почвообразования. Отмечается, что диссипативные процессы преобладают в «первой половине», а антидиссипативные процессы — во «второй половине» каждого этапа эволюции. Указанное «преобладание» совсем не однородное: сначала оно идёт на взлёте ускорения почвообразования, а затем — на отрезке убывания, стагнации.

Ключевые слова: скорость и ускорение почвообразования, «литоматрица», «педоматрица», диссипативные и антидиссипативные процессы.

Состояние вопроса

Как известно, формирование «зрелого» («климаксного») почвенного профиля из материнской породы при стабильном состоянии таких факторов почвообразования, как климат и рельеф, обычно называют «саморазвитием почвы» [1–8]. Период времени, необходимый для формирования зрелого профиля, принято называть периодом (возрастом) саморазвития. За это время почвенный профиль приходит в динамическое равновесие (квазиравновесие) со средой. При этом большинство обратимых почвенных процессов полностью или почти полностью «балансируются», а необратимые процессы или заканчиваются, или снижают свою интенсивность.

Таким образом, постепенно почвообразующая порода («литоматрица») преобразуется в «педоматрицу» — хорошо развитый, «зрелый» почвенный профиль [8], двигаясь вдоль «стрелы времени» [9]. В.О. Таргульян [8] для обозначения периода саморазвития почв ввел понятие «характерного времени», распространив его и на другие природные объекты, их отдельные свойства и процессы, протекающие с ними/в них. Так, характерным временем природного тела, отдельного

признака или процесса называется отрезок времени, необходимый для того, чтобы данное тело (признак, процесс), развивающееся под влиянием определенной и стационарной комбинации факторов среды, пришло в равновесие или квазиравновесие с этими факторами [10]. В случае изменения факторов характерным временем тела (признака, процесса) можно считать время релаксации к новому состоянию факторов. То есть, после достижения характерного времени почвенные процессы могут начать создавать другой почвенный профиль (соответствующий другому почвенному таксону) и так далее.

То есть за характерное время некий «специфический» почвенный процесс идет определенными «рывками»: сначала процесс (например, гумусообразование) «разгоняется», а затем, к концу характерного времени, «тормозится» и выходит на «финишную прямую». В.О. Таргульян [8] так оценил сущность изменения продукции биомассы, характерных времен разноскоростных процессов, развития педомамы и стирания литомамы, степени регулирования функционирования многофазной системы твердофазной педо-литоматрицей во времени: начиная с нуля-момента развития

почвы, активность функционирования многофазной биокосной системы некоторое время нарастает, а затем переходит в стационарный режим зрелой (климаксной) системы, который часто фиксируется равенством продукции и разложения биомассы. При этом по мере развития педогенеза происходит постепенное стирание литогенной памяти с твердофазной матрицы почвы и столь же постепенное нарастание педогенной памяти.

Практически никогда скорость любого почвенного процесса в течение характерного времени не описывается так называемой линейной функцией типа

$$Y=at + b, \quad (1)$$

где: a — скорость почвенного процесса; t — время течения почвенного процесса (изменяется от 0 до T — характерного времени данного процесса); a, b — постоянные.

Основным свойством линейных функций является приращение функции пропорционально приращению аргумента, то есть в данном случае, — показатели свойств/режимов/функций почв/структур почвенного покрова должны были бы меняться пропорционально времени, в течение которого эти изменения происходят.

По сути, такое изменение состояния почв во времени (постепенное — экспоненциальное — нарастание интенсивности, последующее замедление и выход на «плато») отлично описывается логистическим уравнением (известным также, как уравнение Ферхюльста), используемом в популяционной динамике [11]:

$$P(t) = \frac{K P_0 e^{rt}}{K + P_0 (e^{rt} - 1)}, \quad (2)$$

где: $P(t)$ — численность популяции в момент времени t ; P_0 — начальная численность популяции; K — поддерживающая ёмкость среды (максимально возможная численность популяции); r — скорость роста (размножения); t — время.

Кстати, такое «поведение» почвообразовательных процессов свидетельствует об их «биологической» природе. Подобно тому, как популяция стремительно набирает численность по мере расходования значительного количества питательного субстрата, а потом скорость её роста снижается и позже стабилизируется, почвенные процессы (основанные часто также на преобразовании минеральных или органических субстратов) сначала «разгоняются», затем замедляются и стабилизируются, достигая климаксного состояния.

Закономерное изменение скорости процессов почвообразования в ходе одного периода (стадии) саморазвития почвы можно попытаться выразить математически — через производные этих процессов. Вероятно, применение этого подхода позволит лучше понять особенности развития и эволюции почв.

Целью исследований, результаты которых приведены в настоящей статье, заключается в оценке

почвообразовательных процессов через дифференцирование почвообразования.

Математическое и графическое выражение скорости и ускорения почвообразовательных процессов

Как отмечалось выше изменение состояния почв во времени можно описать логистическим уравнением (1). Скорость изменения состояния почвы (соответствующей определённому таксону) во времени можно определить через выражение $\frac{dS}{dt}$. Если в почве происходят почвообразовательные процессы (микропроцессы по А.А. Роде [1] или элементарные почвообразовательные процессы (ЭПП) по И.П. Герасимову [4]) $x_1, x_2, x_3, \dots, x_i, \dots, x_n$, то скорость общего почвообразовательного процесса, формирующего весь профиль почвы (макропроцесса по А.А. Роде, комплекса процессов по Я.М. Годельману [12]) будет составлять:

$$\frac{dS}{dt} = \frac{dx_1}{dt} + \frac{dx_2}{dt} + \frac{dx_3}{dt} + \dots + \frac{dx_i}{dt} + \dots + \frac{dx_n}{dt} = \sum_{i=1}^n \frac{dx_i}{dt}, \quad (3)$$

Графически, изменение общего состояния почвы (связанного с действием макропроцесса или комплекса процессов, по сути, являющегося, по выражению В.О. Таргульяна, активностью реактора — развитием функционирования (продукцией биомассы)) с течением времени выражается на рис. 1.

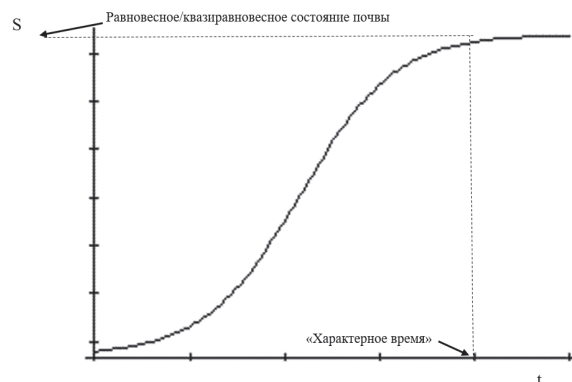


Рис. 1. Изменение состояния почвы S с течением времени t

Изменение общего состояния почвы, связанного с действием микропроцессов или ЭПП, с течением времени выражается на рис. 2.

Хотя, не исключено, что некоторые ЭПП/микропроцессы будут «доходить» до равновесного/квазиравновесного состояния по кривым, которые не будут описываться логистической функцией (уравнение 2).

Дифференцирование функции состояния S от времени t позволяет получить представление о скорости и ускорении процессов почвообразования. Графически скорость и ускорение общего почвообразовательного процесса (макропроцесса по А.А. Роде, комплекса процессов по Я.М. Годельману) представлена на рис. 3а, б. Точки пере-

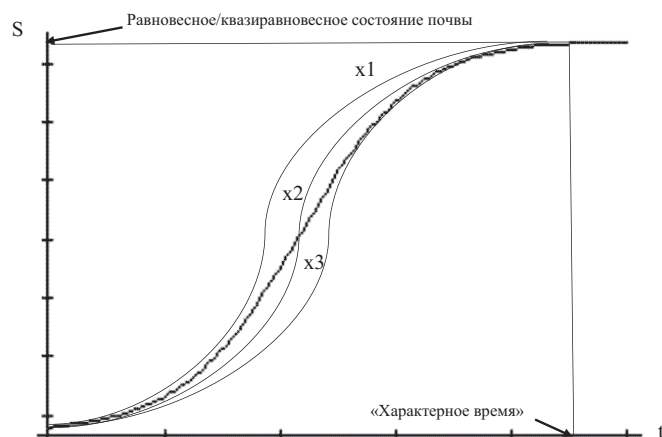


Рис. 2. Изменение состояния почвы S в целом и отдельных составляющих, связанных с проявлением процессов x_1 , x_2 , x_3 , с течением времени t

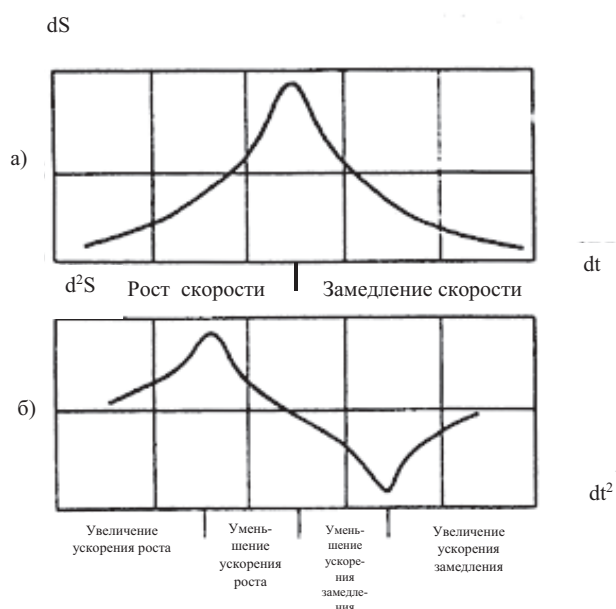


Рис. 3. Скорость (а) и ускорение (б) протекания общего процесса почвообразования

гиба на графике состояния почвы становятся точками экстремумов на графиках производных от почвообразования. Анализ указанных рисунков позволяет выделить различные диапазоны изменения скорости — (диапазон роста скорости почвообразования и замедления скорости почвообразования) — рис. 3а — и диапазоны изменения ускорения (диапазон увеличения ускорения роста интенсивности почвообразования, диапазон уменьшения ускорения роста интенсивности почвообразования, диапазон уменьшения ускорения замедления интенсивности почвообразования,

диапазон увеличения ускорения замедления интенсивности почвообразования) — рис. 3б.

Графическое выражение эволюции почв через использование понятий «скорость» и «ускорение» почвообразования

Как было показано выше, эволюция почвы происходит в том случае, если она переживает несколько периодов саморазвития. То есть, из одного «климаксного» состояния почва переходит во второе, третье и т.д. — до тех пор, пока она не перестает быть почвой. Схематично эволюцию почв можно представить следующим образом (рис. 4):

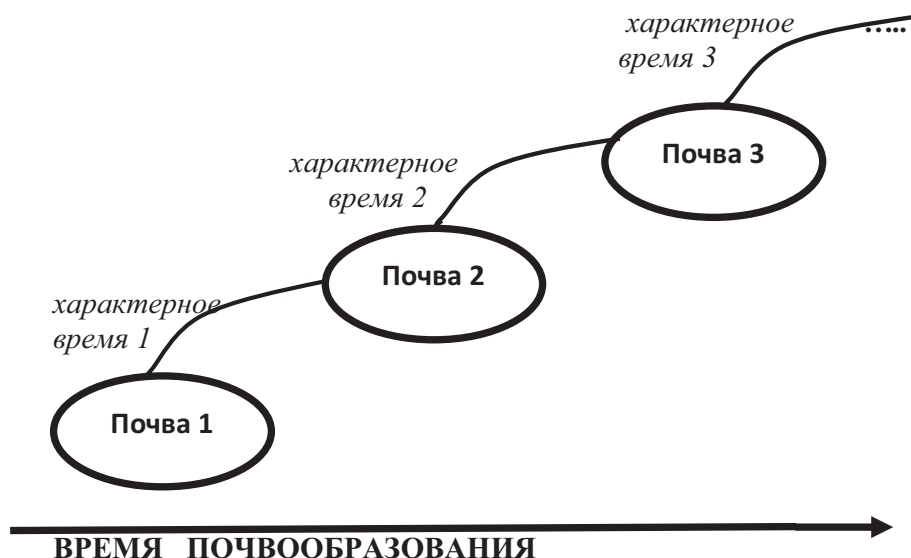


Рис. 4. Схема эволюции почв, опирающаяся на представление о характерном времени

У представленной схемы, образно говоря, имеется только ось абсцисс — «время почвообразования». Отсутствие оси ординат, обозначающей или состояние почвы, или почвенный таксон определенного ранга, связано с тем, что на такой оси нельзя точно определить взаимное расположение почв (по сути, — одной и той же почвы), «относящихся» к различным «характерным» временам. То есть, нельзя однозначно сделать заключение о постепенном улучшении или ухудшении состояния почвы при прохождении ею нескольких стадий эволюции. Наверное, нельзя и однозначно предсказывать изменение в таксономическом положении исследуемой почвы по «стволу» классификации в ходе её эволюции.

Графическое выражение скорости (рис. 5) и ускорения (рис. 6) почвообразования позволяет изобразить многостадийную эволюцию (развитие) почв, где шкалы осей ординат несут условный характер по той же самой причине — нельзя утверждать, что величина скорости и ускорения процессов почвообразования на 2-й, 3-й и последующих стадиях почвообразования будет выше или ниже, чем на 1-й стадии. Полученные «синусоида скорости» и «кардиограмма ускорения» почвообразования, очевидно, характеризуют общий почвообразовательный процесс, затрагивающий весь

почвенный профиль (макропроцесс по А.А. Роде, комплекс процессов по Я.М. Годельману). Отдельные почвообразовательные процессы (микропроцессы, ЭПП) могут изменять свои скорость и ускорение в соответствии с другими функциональными зависимостями.

Диссипативные и антидиссипативные процессы в почвах

Почва является уникальным биокосным природным телом, которое формируется при взаимодействии живого и косного веществ. По своей сути, живое и косное вещества — это две формы движения материи, у которых есть фундаментальное общее и между которыми существуют принципиальные различия.

Изменение состояния почвы в ходе индивидуальной стадии (этапа) эволюции, как правило, подчиняющееся логистической зависимости, затрагивает как косную, так и биотическую составляющую. Как отмечалось выше, постепенно почвообразующая порода («литоматрица») преобразуется в «педоматрицу» — хорошо развитый, «зрелый» почвенный профиль [8]. То есть, в самом начале развития почвы на первом этапе многостадийной (многостадийной) эволюции, значительную роль играют процессы трансформации косного

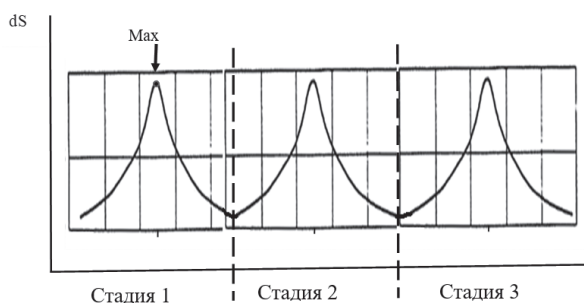


Рис. 5. Изменение скорости почвообразования в ходе многостадийной эволюции (развития) почв

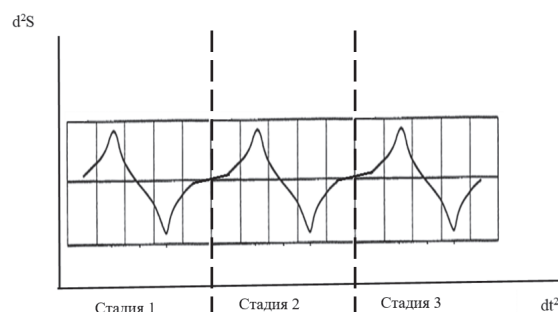


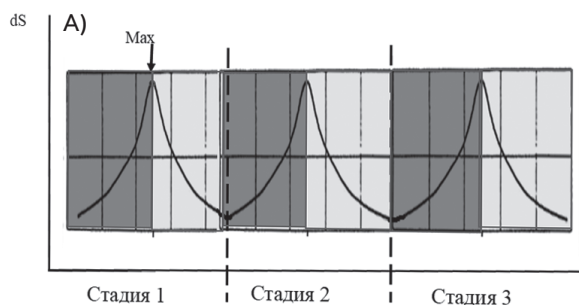
Рис. 6. Изменение ускорения почвообразования в ходе многостадийной эволюции (развития) почв

минерального вещества под действием, в первую очередь, абиотических — и, в определенной степени, биотических факторов. Через определённое время процессы накопления и трансформации органического вещества начинают доминировать (при том, что процессы разрушения, трансформации и синтеза минеральных продолжают). Наконец, изменение состояния доходит до точки Мах на рис. 5, и скорость почвообразования начинает снижаться. Вполне вероятно, что в этот момент педоматрица, состоящая из твёрдофазных продуктов функционирования, трансформированных и унаследованных веществ литоматрицы начинает доминировать над литоматрицей (почвообразующей породой). То есть, говоря совсем огрублённо, живое (биогенное, органическое, биоорганическое) вещество начинает в определенном смысле преобладать над косным (минеральным) веществом.

На следующих (2-й, 3-й и т.д.) стадиях эволюции почв процессы, связанные с косным и живым (биогенным) веществами могут пойти по сценарию, описанному для 1-й стадии. В случае турбационных, деградационных процессов (то есть, процессов, нарушающих профильное строение и существенно изменяющих вещественный состав, почв) общий характер изменения косного и живого веществ может быть другим [8].

Как известно, одно из различий косного и живого веществ заключается в противоположном направлении их эволюции: сущностью эволюции косного вещества как целого является принцип диссипации (рассеяния) свободной энергии — способность к совершению внешней работы с течением времени уменьшается, а мощность потерь увеличивается, а сущностью эволюции живого вещества как целого является хроноцелостность открытой неравновесной антидиссипативной системы, где способность к совершению внешней работы с течением времени не убывает, а мощность потерь системы в целом не увеличивается [13].

Сочетание диссипативных и антидиссипативных процессов в почвах, вероятно, происходит в соответствии с неравновесной термодинамикой:



внутри биотического (живого) компонента происходят антидиссипативные процессы и энтропия уменьшается, а для косного компонента характерны диссипативные процессы с увеличением энтропии — рис. 7.

То есть в развитии почв происходит последовательное «усложнение» пула микроорганизмов и структуры органических веществ (наряду с «усложнением» фитоценоза в экосистеме) на фоне разрушения минеральной части почвенного тела. Несмотря на то, что в ходе почвообразования иногда довольно сложноустроенные почвенные минералы могут трансформироваться в другие, не менее сложноустроенные минералы (например, слюды — в гидрослюды), общий тренд изменения косного компонента почв — упрощение структуры и состава минералов и пород, составляющих почву (например, разрушение силикатов и алюмосиликатов до окислов и гидроокислов железа, алюминия и кремния).



Рис. 7. Схема уменьшения энтропии за счет антидиссипативных процессов в живом компоненте почвы и увеличения энтропии за счет диссипативных процессов в косном компоненте почвы (вследствие «перекачивания» энтропии из живого компонента в косный)

То есть, в ходе 1-й стадии (этапа) эволюции почв диссипативные процессы преобладают над антидиссипативными до точки Мах, а затем — наоборот. В случае принципиальной схожести развития почв в ходе различных этапов их эволюции сочетание диссипативных и антидиссипативных процессов выглядит следующим образом (рис. 8А).

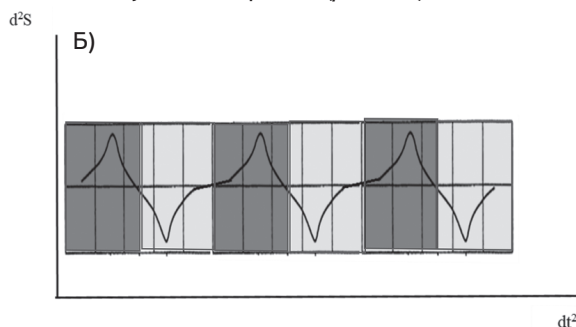


Рис. 8. Соответствие изменения скорости (А) и ускорения (Б) почвообразования и доминирования диссипативных или антидиссипативных процессов* в ходе многостадийной эволюции (развития) почв

- — диссипативные процессы преобладают над антидиссипативными,
- — антидиссипативные процессы преобладают над диссипативными

Рис. 8Б показывает, что доминирование диссипативных процессов (например, — дезорганизация минерального вещества почвы) происходит и при увеличении показателя ускорения роста состояния (биопродуктивности) почвы, и при уменьшении этого показателя. Антидиссипативные процессы (конденсация структурных единиц гумусовых веществ, усложнение микробного пула почв и т.д.) доминируют и при уменьшении ускорения замедления роста, и при увеличении ускорения замедления. То есть, несмотря на то, что «хаотизирующие» диссипативные процессы преобладают в «первой половине», а «организующие» антидиссипативные процессы — во «второй половине» каждой стадии эволюции, это «преобладание» совсем не однородное. Сначала оно идёт на взлете этого ускорения, а затем — на отрезке убывания, стагнации.

Заключение

Представление о скорости и ускорении процессов почвообразования (как общих, профилеобразующих, так и отдельных ЭПП или микропроцессов) позволяет оценить динамику изменения состояния почвы как в ходе индивидуального этапа её развития, так и многоэтапной эволюции.

Было показано, что изменение состояния почв во времени в пределах одного этапа, как правило, описывается логистическим уравнением. Дифференцирование функции состояния S от времени t позволяет получить представление о скорости dS/dt и ускорении d^2S/dt^2 процессов почвообразования. Точки перегиба на графике состояния почвы становятся точками экстремумов на графиках производных от почвообразования.

Отмечается, что диссипативные процессы преобладают в «первой половине», а антидиссипативные процессы — во «второй половине» каждой стадии эволюции. Указанное «преобладание» совсем не однородное: сначала оно идёт на взлете ускорения почвообразования, а затем — на отрезке убывания, стагнации.

Благодарность. Исследование выполнено в рамках госзадания Минобрнауки России (тема № АААА-А21–121012290189-8 «Научно-практические основы и информационное обеспечение устойчивого управления почвенно-земельными ресурсами европейской части РФ»).

Литература

1. Роде А.А. Почвообразовательный процесс и эволюция почв. — М.: Изд-во АН СССР, 1948. — 142 с.
2. Йенни Г. Факторы почвообразования. — М.: Гос. изд-во иностр. лит., 1948. — 348 с.
3. Герасимов И.П., Глазовская М.А. Основы почвоведения и география: учебник для геогр. фак. унтов. — М.: Географгиз, 1960. — 490 с.
4. Герасимов И.П. Генетические, географические и исторические проблемы современного почвоведения. — М.: Наука, 1976. — 298 с.
5. Александровский А.Л. Эволюция почв Восточно-Европейской равнины в голоцене. — М.: Наука, 1983. — 150 с.
6. Александровский А.Л., Александровская Е.И. Эволюция почв и географическая среда. — М.: Наука, 2005. — 223 с.
7. Эволюция почв и почвенного покрова. Теория, разнообразие природной эволюции и антропогенных трансформаций почв / И. В. Иванов, А. Л. Александровский, А. О. Макеев и др. — М.: ГЕОС, 2015. — 925 с.
8. Таргульян В.О. Теория педогенеза и эволюции почв. — М.: ГЕОС, 2019. — 295 с.
9. Пригожин И., Стенгерс И. Время. Хаос. Квант. К решению парадокса времени. — М.: Едиториал УРСС, 2003. — 240 с.
10. Арманд А.Д., Таргульян В.О. Некоторые принципиальные ограничения эксперимента в географии (принцип дополнительности и характерное время) // Известия РАН. Серия географическая, 1974. № 4. — С. 129–138.
11. Дроздюк А.В. Логистическая кривая. — Торонто: Choven, 2019. — 274 с.
12. Годельман Я.М. Структура почвенного покрова и землеустроительное проектирование // Почвоведение, 1977. № 9. — С. 13–25.
13. Макаров О.А., Абдулханова Д.Р. Возможности применения LT-методологии в почвоведении // Использование и охрана природных ресурсов в России, 2024. № 2. — С. 57–62.

Сведения об авторах:

Макаров Олег Анатольевич, д.б.н., завкафедрой эрозии и охраны почв факультета почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова, зав. лабораторией почвенно-экологического мониторинга УО ПЭЦ МГУ, в.н.с. Аграрного центра МГУ; e.mail: oa_makarov@mail.ru.

Демидов Валерий Витальевич, д.б.н., проф. кафедры эрозии и охраны почв факультета почвоведения МГУ; e.mail: demidov951@yandex.ru.

Абдулханова Дина Рафиковна, м.н.с. кафедры эрозии и охраны почв факультета почвоведения МГУ; e.mail: dina_msu@mail.ru.

Есафова Елена Николаевна, ассистент кафедры эрозии и охраны почв факультета почвоведения МГУ; erosion-msu@yandex.ru.

Почвы и здоровье населения

Т.А. Зубкова, д.б.н.

Факультет почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова

Участие почвы в формировании здоровья населения включает два аспекта с противоположной направленностью: в условиях загрязнения почв возрастают экологические риски здоровью человека, а высокоплодородные почвы, напротив, способствуют экономическому, социальному и демографическому развитию общества.

Ключевые слова: почвы и заболеваемость населения, почвы и социально-экономические показатели общества, экологические риски, загрязнение почв.

Введение

К настоящему времени долевой вклад окружающей среды в формирование здоровья человека составляет до 25%, оказывая влияние на уровень заболеваемости населения [1]. Причем, 20–30 лет назад он оценивался как 10–17% [2], что свидетельствует о возрастании долевого участия окружающей среды в формировании здорового человека. По данным специалистов ВОЗ 23% от общего числа случаев смерти в мире связаны с загрязнением окружающей среды — это около 12,6 млн случаев [1]. Основными причинами смерти среди них являются загрязнители воздуха, воды и почвы.

Существует тесная функциональная взаимосвязь состояния здоровья населения и показателей загрязнения окружающей среды. Однако задачи оценки и выявления взаимосвязи «экология — здоровье», а также выраженности долевого вклада загрязнений окружающей среды в развитие основных заболеваний человека являются трудной проблемой. Сложность этих задач определяется многофакторностью влияния внешней среды на организм человека и многофакторностью ответных реакций. Например, токсическое действие тяжелых металлов на организм может проявляться отдаленно и в последующих поколениях, поскольку они являются долгоживущими эндотоксикантами, срок жизни которых в водной среде достигает нескольких месяцев и лет, а в почвах — сотен лет [3].

Большинство патологий человека связано с загрязнением воздуха или воды. Данных о связях с загрязнением почв мало, несмотря на то, что загрязнение почв растет. Объяснить это можно тем, многие поллютанты редко доводят человека до смерти, хотя и вызывают тяжелые болезни, которые не всегда учитываются статистикой.

Почвы и здоровье человека

Почва, как один из природных факторов, может представлять риски здоровью человека. Заболеваемость и смертность от загрязняющих веществ в почве является одним из серьезнейших результатов экологического состояния окружающей среды, *затрагивающих здоровье каждого человека*. Под здоровьем почвы понимается ее постоянная способность функционировать как жизненно важная живая экосистема, которая поддерживает растения, животных и людей.

Здоровая почва дает нам обильные урожаи и леса, продуктивные пастбища, разнообразную дикую природу, красивые ландшафты, чистый воздух и воду. Это почвы с характерными зональными признаками и продуктивностью растений, соответствующей природно-климатическим условиям и современным технологиям. Такое мнение утвердилось в научных сообществах разных стран [4, 5]. Следует заметить, что речь идет не о здоровье почвы, как компонента биосферы, а о здоровых почвах для человека. Биосфера и почвы в том числе — вечны, а человек — смертен. Даже, если человек все вокруг распашет, застроит и отравит, биосфера останется. Вымрут одни организмы, появятся другие виды, устойчивые к загрязнению, в том числе и к радиоактивным веществам. Природа без человека жила миллиарды лет и теперь сможет жить без него, но человек вне полноценной биосферы существовать не может [6]. Поэтому понятие «здоровая почва» относится только к человеку, а не к биосфере в целом, и ее следует называть «здоровая почва для человека».

В настоящее время активно обсуждается микробиологическая концепция «здоровых почв» [7–9]. Предлагаются различные индикаторы и тесты здоровых почв: «дыхание почвы», легкодоступные углерод и азот, фитотоксичность почв, электродвижущая сила электродов в почве, а также более специфические показатели активности микробных сообществ. Некоторые ученые рассматривают здоровье почв, как интегральный показатель множества параметров, оценивающих физические свойства почв (стабильность агрегатной структуры, гранулометрический состав, фильтрацию, влажность, температуру), агрохимические (доступность нитратов и аммония), биологические (активность дождевых червей, мезофауны, микробов, «дыхания почв» и химические (долю легкоокисляемого углерода и др.) [10]. Сама же почва с ее минеральной и органической составляющей, а соответственно и физико-химическими свойствами, важны как факторы влияния на биологическую активность и на продуктивность культурных растений. То есть микробиологическая концепция «здоровых почв» сосредоточена на биологических регуляторах и индикаторах оптимального функционирования агроценозов при выращивании высоких урожаев. Практически, за это отвечают и хи-

мические, и физические свойства почв, которые обеспечивают и поддерживают ее плодородие. Но концепция «здоровых почв» не отвечает на вопрос: Как почва связана со здоровьем населения, и влияет ли качество земель на заболеваемость и смертность людей?

Ранее здоровье почвы связывали с отсутствием в ней болезнетворных организмов, источников заболеваний человека. Было показано, что в развитии аллергических заболеваний участвуют почвенные грибы, в заболоченных почвах размножаются комары — переносчики малярии. Известны отдельные факты заболеваний щитовидной железы у населения, проживающего в районах подзолистых почв бедных йодом, или «уровская болезнь» суставов и костной ткани из-за необычного соотношения кальция, кремния и стронция в почвах Забайкалья. У населения Дагестана в районах с избытком бора на отгонных пастбищах встречается болезнь мышц, митоз [11, 12]. В почве могут обитать бактерии столбняка, сибирской язвы, ботулизма, что может быть причиной опасных инфекций у человека. Причем, оптимум среды обитания патогенных микроорганизмов приходится на слабощелочную область pH (табл.).

Таблица

Оптимумы кислотности среды для возбудителей заболеваний

Заболевание	Оптимум pH
Лептоспироз	7,2–7,4
Псевдотуберкулез	7,2–7,4
Иерсиниоз	6,9–7,2
Сальмонеллез	7,2–7,6
Столбняк	7,0–8,2
Туляремия	6,8–7,4
Бруцеллез	6,6–7,4
Ботулизм	7,4–7,6

На урбанизированных территориях pH почв сдвинут в щелочную область, и это создает дополнительные риски здоровью населения в городах.

В почвах может накапливаться и сохраняться прионная инфекция. Она открыта сравнительно недавно, в конце 20 века, американцем Стэнли Прузинером. А в 1997 г. он получил за свое открытие Нобелевскую премию. Прион — субмикроскопическая инфекционная частица, вызывающая дегенерацию головного мозга, белковой природы, мельче вируса в 100 раз, обладает чрезвычайно высокой химической стабильностью. К прионным болезням у животных относятся почесуха (скрепи) у овец и коз, губчатые энцефалопатии у коров («бешенство коров») и др. Больные животные (овцы, коровы) могут заражать почву на долгие годы. Пастухи забрасывают пастбищные поля выпаса больных животных на долгие годы. Причина в том, что прионы, попадая в почву, адсорбируются минеральной матрицей. Казалось бы, в результате образуются контакты, которые блокируют функциональные

группы прионов, и таким образом, приводят к снижению токсичных свойств. Но в реальности, как показали многочисленные модельные эксперименты с почвенными минералами (монтмориллонит, каолинит и кварц), активность прионов в связке с монтмориллонитом не уменьшалась, а только возрастала. Почвенные глины также, как и некоторые металлы (медь и марганец) способствуют стабильности, долговечности приона и сохранению токсичности в окружающей среде. Однако механизм адсорбции прионов на частицах почвы далеко не однозначен. Многое зависит от фазового состояния металла в почве. Так, Mn^{2+} в составе $MnSO_4$ усиливает прионную инфекцию, а в составе бернессита (Mn^{4+}) и пиролюзита (MnO_2), напротив, снижает и способствует разрушению [13].

Почвенные риски здоровью человека не ограничиваются микробами, санитарно-гигиеническими нормами и токсикологическими показателями. К заболеваниям могут привести загрязнение почв радионуклидами, полициклическими ароматическими углеводородами, тяжелыми металлами, ядохимикатами и другими веществами. Но оценить их роль в заболевании человека и, тем более доказать, весьма проблематично. Причина в том, что «экспериментальная» оценка риска строится на количестве смертельных исходов, а между тем, многие загрязняющие вещества редко доводят человека до смерти, хотя и вызывают тяжелые болезни, которые не учитываются статистикой [14]. Тем не менее, «вероятностный» подход (Оценка риска) широко используется в современной практике, поскольку позволяет учитывать одновременно несколько вредных факторов и еще дополнительные параметры. Традиционно опасность в почве со стороны токсических веществ оценивают по ПДК и ОДК, но их величины установлены далеко не для всех элементов [15, 16]. В связи с этим применяют кларки химических элементов как нормирующие показатели. При исследовании почв и грунтов в экологических изысканиях концентрации загрязняющих веществ сравниваются с кларками в земной коре. Для городских почв в качестве стандартов используются кларки почв селитебных ландшафтов [17].

В современное время почва продолжает накапливать загрязняющие вещества в своем профиле, и в будущем может представлять собой уже вторичный источник загрязнения окружающей среды и водных бассейнов. Поэтому разработка новых методологических подходов к оценке качества почв и их роли в формировании здоровья населения весьма актуальна.

Методологические подходы к оценке качества почв для установления взаимосвязей с заболеваниями населения

Оценка качества земель по негативным свойствам почвы проведена для Республики Ады-

геи с преобладающими типами почв: лугово-черноземными, черноземами выщелоченными и серыми лесостепными [18]. Авторы оценивали качество земель каждого района в балльной системе, которая учитывала долевое участие почвенных факторов, неудовлетворительных для ведения земледельческих работ, поскольку на таких землях требуется проведение дополнительных мероприятий и финансовых затрат. Например, для почв с повышенной кислотностью необходимо известкование, для глеевых и глееватых почв — мероприятия по улучшению водно-физических свойств, для средне- и сильно-смытых почв — по снижению эрозии и повышению гумуса, для черноземов выщелоченных уплотненных и слитых обязательны агротехнические приемы по улучшению водно-физических свойств и т.п. Диапазон значений негативного свойства почв ранжировали и оценивали в баллах, затем рассчитывали средний балл для каждого района и устанавливали корреляционно-регрессионные связи с показателями проживающего на данной территории социума [18]. Оценка качества земель по негативным свойствам почвы выявила пропорциональные связи между низким качеством земель районов Адыгеи и заболеваниями проживаемого на данной территории населения: общие респираторные, общие инфекционные, туберкулез, чесотка, ветряная оспа и сальмонеллез [18]. По общим инфекционным заболеваниям показана пропорциональная связь с площадью гидроморфных почв.

Оценка качества земель по бонитету почв использовалась при установлении связей с числом преступлений в районах Адыгеи, связанных с незаконным оборотом наркотических средств, психотропных веществ и их аналогов. Этот показатель косвенно характеризует и заболеваемость, вызванную употреблением наркотических средств. Обратная связь между бонитетом почв и числом преступлений оказалась высокой, причем за весь 5-летний период наблюдений — $R^2 0,70-0,80$ [18]. Тесная связь с землями низкого качества, скорее всего косвенная, и обусловлена более низким социальным статусом проживающего населения.

Оценка качества земель по агрохимическим свойствам почв разработана для Владимирской области с преобладающими типами дерново-подзолистых и серых лесных почв [19]. Качество земель каждого из 16 районов оценивалось в баллах по основным (pH, Cорг, P, K) и сопутствующим (Ca, Mg, S, B, Cu, Zn, Co, Mn) показателям плодородия почвы. Для районов Владимирской области, установлена отрицательная корреляционная связь качества земель с многочисленными заболеваниями: крови, эндокринной системы, нервной системы, системы кровообращения, ИБС, астмой, органов пищеварения, печени, поджелудочной железы, костно-мышечной системы, врожденные аномалии, органов дыхания. Распространение и смертность от социально-значимых заболеваний, тубер-

кулеза и ВИЧ-инфекцией, возрастали в районах с низким качеством земель [29].

Оценка качества земель по содержанию тяжелых металлов в почвах Ивановской и Костромской областей заслуживает особого внимания. Были определены концентрации подвижных и валовых форм тяжелых металлов в почвах, составлены карты их распределения в области и проведен корреляционно-регрессионный анализ для установления связей со смертностью населения от различных заболеваний [20]. А. Сивухин показал, что между смертностью населения от заболеваний дыхательной системы и содержанием в почвах Ni, Co и Mn существует пропорциональная связь, аналогичная зависимость установлена между смертностью от онкологических заболеваний и содержанием в почве Cd и Co [20, 21]. Следует обратить внимание на то, что в данном подходе почва выступает как грунт для сбора и хранения тяжелых металлов, т.е. почва как бы ни при чем. Аналогичный подход используют в медицинской геологии, рассматривая почву как верхний слой земли (грунта), содержащий токсичные для живых организмов химические элементы [22]. Однако именно такой подход позволяет выявить связи между конкретным источником заболевания в почве и смертностью проживающего на данной территории населения, и позволяет провести анализ причинно-следственных связей.

Таким образом, различные подходы в оценке качества земель для определения связей с заболеваемостью населения показывают наличие прямых корреляционных связей или тенденций в системе «плодородная почва — здоровое население».

Однако, влияние почвы на здоровье населения гораздо шире, чем мы можем предполагать, исходя из традиционного представления о связях в системе «почва-заболеваемость населения». Выше было показано, что одним из показателей здоровья являются его материальная обеспеченность, доходы. А если это сельская местность с небольшими населенными пунктами и с приусадебными участками, то успешность ведения хозяйства, рентабельность выращивания сельскохозяйственной продукции и доходы населения во многом обеспечиваются плодородием почв. Таким образом, почвы, как фактор окружающей среды, доходы населения и успешность в работе, т.е. социально-экономические факторы, формируют с одной стороны, духовное здоровье и с другой стороны, повышают доступность медицинских услуг. Таким образом, в этом примере переплелись все социальные факторы здоровья населения. Поэтому следует учитывать еще и косвенное влияние почвы на здоровье населения, через доходы от сельскохозяйственного производства и формирование духовного здоровья.

Поскольку здоровье населения — это категория, включающая в себя экономическую составля-

ющую, то попытаемся вычленить вклад почвы в социально-экономическую сферу общества.

Анализ взаимосвязей между качеством земель и подсистемами социально-экономической сферы общества показал, что промышленные объекты приурочены к районам со средним и низким качеством земель. В этих же районах максимальные выбросы в атмосферу загрязняющих веществ. Численность крупного рогатого скота, овец и коз положительно коррелировала с качеством земель, поскольку связано с пастбищным животноводством, а численность свиней, напротив, была выше в районах с низким качеством земель. Сельскохозяйственная продукция тесно связана в своих экономических показателях с качеством земель. На почвах лучшего качества продукция растениеводства, в том числе зерновых культур, более рентабельна, чем на менее плодородных почвах. В то же время производство продуктов животноводства заметно более рентабельно в административных районах с землями худшего качества.

Наиболее активные миграционные потоки были характерны для районов с более плодородными почвами. В этих же районах наблюдается снижение оттока молодого населения в другие районы. Здесь больше учреждений культурно-досугового типа, предприятий общественного питания (ресторанов, кафе и столовых), выше и численность занятого в спорте населения. Уровень трудовой напряженности, и в частности уровень безработицы граждан выше в районах с низким качеством земель. На этих же территориях выше реализация алкогольных напитков. На плодородных землях более благоприятна жизнедеятельность социума: выше зарплаты, наибольший размер частных хозяйств, увеличивается численность семей и домохозяйств, состоящих из 5 и более человек, выше численность заключенных браков, личного автотранспорта, уровень физического развития и др. [18, 19].

Таким образом, высокоплодородные почвы могут быть факторами стабилизации социально-

экономической структуры общества и обустройства личного хозяйства, тем самым повышая уровень материальной обеспеченности, благополучия и духовного здоровья, как основы физического здоровья населения.

Заключение

Почвы как фактор окружающей среды могут создавать экологические риски здоровью населения, но только в том случае, если аккумулируют в своем профиле загрязняющие вещества или патогенную микрофлору. Заболеваемость населения положительно коррелирует с низким качеством земель. На более плодородных почвах реже болеют острыми респираторными и инфекционными заболеваниями, туберкулезом, ВИЧ и др. На плодородных землях более благоприятна жизнедеятельность социума: выше доходы населения, рентабельность сельскохозяйственной продукции, больше учреждений культурно-досугового типа, предприятий общественного питания, наибольший размер частных хозяйств, численность семей, ниже уровень трудовой напряженности, что способствует экономическому, социальному и демографическому росту. Таким образом, роль почвы не ограничивается только факторами, лимитирующими формирование здорового населения в условиях загрязнения. Взаимосвязи, установленные между качеством земель и социально-экономическими и культурными характеристиками социума, свидетельствуют о вовлечении почв в процессы устойчивого развития общества.

Выводы

Участие почвы в формировании здоровья населения включает два аспекта с противоположной направленностью: в условиях загрязнения почв возрастают экологические риски здоровью населения, а высокоплодородные почвы, напротив, способствуют экономическому, социальному и демографическому развитию общества.

Исследование выполнено в рамках госзадания МГУ имени М.В. Ломоносова.

Литература

1. Факторы окружающей среды, влияющие на здоровье человека // Филиал ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в городе Москве» в ЗАО г. Москвы, 2025. — С.1. URL: <https://gsenzao.ru/factory-okruzhayushhej-sredy-vliyayushhie-na-zdorove-cheloveka/>
2. Прохоров Б.Б. Здоровье населения России по регионам. Общественное здоровье // Россия в окружающем мире: 1999. (Аналитический ежегодник). — М., 1999. — С. 58–87.
3. Гичев Ю.П. Экологическая обусловленность основных заболеваний и сокращения продолжительности жизни. — Новосибирск: Изд-во СО РАМН, 2000. — 46 с.
4. Upadhyay S.K., Singh G., Rani N., Rajput V.D., Seth C.S., Dwivedi P., Minkina T., Wong M.H., Show P.L., Khoo K.S. Transforming bio-waste into value-added products mediated microbes for enhancing soil health and crop production: Perspective views on circular economy // Environmental Technology & Innovation, 2024. V. 34. Article 103573. URL: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2024.103573>
5. Соколова Е.А. Здоровье почв — часть устойчивого агробизнеса. URL: <https://potatosystem.ru/zdorove-pochv-chast-ustojchivogo-agrobiznesa> (дата обращения: 18.02.2025).
6. Моисеев Н.Н. Экология в современном мире // Наука и жизнь, 1998. № 3. — С. 2–9.
7. Курманбаев А.А., Сундет Т.Р. Концепция почвенного здоровья и современные индикаторы здоровья почв // Почвоведение и агрохимия, 2023. № 2. — С. 91–106.
8. Семенов А.М., Глинушкин А.П., Соколов М.С. Здоровье почвенной экосистемы: от фундаментальной

- постановки к практическим решениям // Известия ТСХА, 2019. В. 1. — С. 5–18.
9. Соколов М. С., Семенов А. М., Спиридонов Ю. Я., Торопова Е. Ю., Глинушкин А. П. Здоровая почва — условие устойчивости и развития агро- и социосфер (проблемно-аналитический обзор) // Известия РАН. Серия биологическая, 2020. № 1. — С. 12–21.
 10. Thoumazeau A., Bessou C., Renevier M.-S., Marichal J. T., Mareschal L. и др. A new framework to assess the impact of land management on soil quality. Part A: concept and validation of the set of indicators // Ecological Indicators, 2019. V. 97. — Рр. 100–110.
 11. Добровольский Г. В. Экологическая роль почвы в биосфере и в жизни человека // Роль почв в биосфере. Труды ИЭП МГУ им. М. В. Ломоносова, 2007. Вып. 8. — С. 5–23.
 12. Ковалев И. В., Ковалева Н. О. Эколого-функциональная роль почв в развитии цивилизации // История и современность, 2009. № 1. — С. 93–114.
 13. Fabio Russo, Christopher J. Johnson, Chad J. Johnson, Debbie McKenzie, Judd M. Aiken and Joel A. Pedersen Pathogenic prion protein is degraded by a manganese oxide mineral found in soils // J. of General Virology, 2009. V. 90 (№ 1). — Рр. 275–280.
 14. Бекман И. Н. Анализ и управление экологическим риском: материалы к курсу лекций. — М., 1998. — 20 с.
 15. Предельно-допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы. — М.: ФЦГиЭ Роспотребнадзора, 2006. — 15 с.
 16. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы. — М.: ФЦГиЭ Роспотребнадзора, 2009. — 10 с.
 17. Алексеенко В. А., Алексеенко А. В. Химические элементы в геохимических системах. Кларки почв селитебных ландшафтов: монография. — Ростов н/Д.: Изд. ЮФУ, 2013. — 380 с.
 18. Ашинов Ю. Н., Зубкова Т. А., Имгрунт И. И., Карпачевский Л. О. Почва и социум. — Майкоп, 2006. — 152 с.
 19. Рагимов А. А., Зубкова Т. А., Мазиров М. А. Почва и человек: эколого-функциональное взаимодействие. — Иваново: ИГСХА, 2015. — 244 с.
 20. Сивухин А. Н. Эколого-гигиеническая оценка почвенного покрова Ивановской и Костромской областей: автореф. дис. ... к.б.н. Иваново, 2022. — 26 с.
 21. Сивухин А. Н., Марков Д. С., Борисова Е. А. Влияние загрязнения почв тяжелыми металлами на здоровье населения Ивановской и Костромской областей // Проблемы региональной экологии, 2019. № 3. — С. 81–87.
 22. Фаррахов Е. Г., Вольфсон И. Ф. Медицинская география: состояние и перспективы в России и странах СНГ, 2009. — С. 1–11. URL: <http://www.geosconference.ru/userfiles/ufiles> (дата обращения: 18.02.2025).

Сведения об авторе:

Зубкова Татьяна Александровна, д.б.н., с.н.с. факультета почвоведения МГУ им. М. В. Ломоносова; e-mail: dusy.taz@mail.ru.

Короткие сообщения

В России появится федеральная почвенная карта

22 мая, открывая заседание Правительства РФ, Михаил Мишустин отметил, что Правительство РФ расширило госпрограмму эффективного вовлечения в оборот земель сельхозназначения и в рамках программы будет создана единая федеральная почвенная карта, которая позволит отслеживать состояние земель сельскохозяйственного назначения.

Единая федеральная почвенная карта «станет основой для мониторинга состояния земель сельскохозяйственного назначения, поможет выявить те уголья, которые пока не используются в агропроме всей страны», — сказал Михаил Мишустин. Он добавил, что расширяется также перечень сельхозземель, в отношении которых проводятся кадастровые работы, что позволит аграриям получать субсидии из федерального бюджета на эти цели во всех субъектах РФ.

Премьер также рассказал еще об одном подписанном документе, касающемся Донецкой и Луганской Народных Республик, Запорожской и Херсонской областей. «Как отмечал президент, решение там экономических и социальных вопросов нельзя откладывать. Надо заниматься ими сейчас, ради людей, которые проживают на этих территориях. Подготовлены корректировки, которые обеспечивают возможности для реализации там государственной программы эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения», — сказал глава кабмина.

Он уточнил, что среди ее мероприятий — формирование единой федеральной карты земель для нужд агропромышленного комплекса. По его словам, за последние три года в нее уже включили 73 российских субъекта. Теперь ее дополнят, соответственно, четыре указанных региона.

«Такие меры помогут нарастить объемы производства в АПК страны, собирать хорошие урожаи и способствовать появлению в субъектах новых рабочих мест», — подытожил Михаил Мишустин.

TACC

Агроландшафты

EDN RPTMSR

УДК 631.14

Показатели качества и кадастровая стоимость почв агроландшафтов Западной Сибири (на примере Новосибирской и Омской областей)

*С.А. Корсикова, П.М. Сапожников, д.с.-х.н.
Факультет почвоведения МГУ им. М. В. Ломоносова*

Рассчитаны значения нормативной урожайности, балла бонитета, удельных показателей кадастровой стоимости для почв агроландшафтов Новосибирской и Омской областей. Медианные значения нормативной урожайности Омской области выше значений Новосибирской на 3–32%. Балл бонитета почв областей составляет от 2 до 54. Максимальные показатели выявлены для черноземов оподзоленных (8,89 руб./м²) в Новосибирской области и черноземов выщелоченных в Омской области (7,96 руб./м²). Минимальные показатели (менее 0,5 руб./м²) соответствуют ряду почв от глееподзолистых до солонцов. Средневзвешенная кадастровая стоимость почв Омской и Новосибирской областей составляет 2,00 руб./м² и 2,81 руб./м², соответственно, уровень кадастровой стоимости рассматриваемых субъектов можно назвать низким.

Ключевые слова: агроландшафты, Западная Сибирь, шкалы ВИСХАГИ, агроклиматический потенциал, нормативная урожайность, балл бонитета, удельные показатели кадастровой стоимости.

Введение

Кадастровая оценка является очень важным аспектом земельных отношений, поскольку лежит в основе начисления земельных платежей. Они являются местными налогами и финансовой базой региональных бюджетов, а также играют значительную роль в экономическом развитии.

Однако область применения результатов кадастровой оценки не ограничивается лишь налогом-обложением, кадастровая стоимость применяется при аренде и исчислении выкупной платы недвижимости, административных штрафов, выделения особо ценных земель [1].

Результаты кадастровой оценки земель используются в качестве инструмента управления и регулирования рынка недвижимости. Эффективность налогового регулирования должна определяться объективным установлением величины платы за земли определенного качества. Платежи за землю, которые являются обязательными независимо от факта ведения деятельности на отдельно взятом земельном участке, могут стимулировать собственника либо арендатора к эффективному использованию земельных ресурсов. Однако, сле-

дует отметить, безосновательный налог на землю может привести к снижению коммерческой привлекательности земельных участков.

Вместе с тем, нестабильный размер платы за земли сельскохозяйственного назначения снижает привлекательность инвестирования в экономику, негативно влияет на конкурентоспособность землепользователей, подрывая развитие сельских территорий. В конечном итоге, это отражается и на доходах местных бюджетов, сдерживая развитие муниципальных образований.

Согласно действующим на данный момент Методическим указаниям о государственной кадастровой оценке [2], в процессе проведения кадастровой оценки сельскохозяйственных земель среди ценообразующих факторов выделяют плодородие почвы и агроклиматические параметры.

Методические указания рекомендуют проводить кадастровую оценку земель сельскохозяйственного назначения на основе Единого государственного реестра почвенных ресурсов [3], расчета нормативной урожайности и технологических (нормативных) затрат [4]. Исходные характеристики базируются на материалах крупномасштабных по-

ченых исследований, проведенных во всех субъектах Российской Федерации в середине 90-х гг. прошлого века. От характеристики качества почв (содержания гумуса, мощности гумусового горизонта, содержания физической глины, негативных факторов, влияющих на плодородие почв) зависит величина кадастровой стоимости, налог на сельскохозяйственные земли, который является местным налогом и остается в субъекте РФ. Почвы, находящиеся в различных агроклиматических условиях и элементах ландшафта, дифференцируются по кадастровой стоимости. Изучение характера такой изменчивости является весьма актуальной задачей, имеющей практическую (экономическую) значимость. Необходимо отметить, что в современных материалах о государственной кадастровой оценке отсутствуют данные о кадастровой оценке различных почв. Данные по кадастровой стоимости приведены для различных участков в границах кадастровых кварталов. Исходя из площади почв на различных участках можно легко вычислить средневзвешенную кадастровую стоимость конкретного земельного участка. Это делает работу по определению кадастровой стоимости почв особенно актуальной и важной для государственных бюджетных учреждений Новосибирской и Омской областей, занимающихся кадастровой оценкой, и для независимых оценщиков, оспаривающих результаты определения кадастровой стоимости.

Новосибирская область расположена на юго-востоке Западно-Сибирской равнины, в предгорьях Салаирского кряжа, в междуречье Оби и Иртыша. Граничит с Казахстаном, Алтайским краем, Кемеровской, Омской и Томской областями. Площадь — 178,2 тыс. кв. км, включает в себя 5 городских округов, 27 муниципальных районов, 3 муниципальных округа.

Для территории характерен континентальный климат. Природные зоны: лесостепная, степная, лиственно-лесная. Луговые почвы занимают 38% почвенного покрова всех земель области, черноземы разных подтипов — 28%, солонцы — 15%, темно-серые и серые лесные — 8,5% [5].

Половина сельскохозяйственных земель (3772,6 тыс. га) области используется под пашню [6]. Почвы пашни представлены в большинстве (74%) темно-серыми и черноземными почвами, около 14% почв пашни засолено, 38,2% — переувлажнено [7].

Структура ландшафтного районирования области включает в себя 4 района [8,9]. Ландшафтное районирование частично совпадает с агроклиматическим зонированием [10] (табл. 1), которое также состоит из 4 подзон. Влияние климатических условий на урожайность зерновых культур выражено в агроклиматическом потенциале (АП).

Наиболее благоприятными условиями, с точки зрения обеих классификаций, обладают административные районы, находящиеся в правобережной части Салаирского кряжа (четвертый район). Около 65 % сельхозземель района используется под пашню [9].

Омская область — территория в пределах южной части Западно-Сибирской равнины, граничит с Тюменской, Томской и Новосибирской областями, Казахстаном. Площадь — 141,1 тыс. кв. км, включает в себя 422 муниципальных образования.

Климат — резко континентальный, сухой. Природные зоны: лесостепная, степная, лиственно-лесная. В части сельскохозяйственного использования область представляет собой один из перспективных субъектов СФО. В составе сельхозземель региона 61,8% занимает пашня (4 156,7 тыс. га) [6]. По площади посева зерновых культур и валовому

Таблица 1

Районирование Новосибирской области

Номер района / подзоны	Почвы	Ландшафтное районирование [8,9]	Агроклиматическое зонирование [10]	АП [10]
1	Глеево-подзолистые, дерново-воглеевые, болотные и лугово-болотные	Кыштовский, Северный, Убинский, Усть-Тарский, Венгеровский	Кыштовский, Северный, Убинский, Колыванский районы	4,7
2	Черноземы, темно-серые, серые, светло-серые, лесные, луговые, болотные	Куйбышевский, Каргатский, Барабинский, Чановский, Татарский, Коченёвский, Убинский, Здвинский, Доволенский, Кочковский	Венгеровский, Куйбышевский, Усть-Тарский, Каргатский, Барабинский, Чановский, Татарский, Коченевский, Убинский, Здвинский, Доволенский, Чистоозёрный районы	3,7
3	Лугово-черноземные, луговые, болотные почвы, солончаки, солонцы и солоды	Баганский, Карасукский, Купинский, Краснозерский, Чистоозёрный	Баганский, Карасукский, Купинский, Краснозерский, Чистоозёрный районы	3,0
4	Черноземы, темно-серые, серые, светло-серые, луговые, болотные, солончаки, солонцы, солоды	Мошковский, Болотнинский, Тогучинский, Искитимский, Маслянинский, Черепановский, Сузунский, Новосибирский	Коченёвский, Кочковский, Колыванский, Мошковский, Болотнинский, Тогучинский, Искитимский, Маслянинский, Черепановский, Сузунский, Новосибирский районы	5,0

сбору зерна субъект находится после Алтайского края, по производству картофеля — после Алтайского и Красноярского краев. [7].

Почвенные ресурсы области на 35,5% представлены черноземами и черноземовидными почвами, на 15,5% — дерново-подзолистыми, на 13,7% — солонцами [3]. Территория пашни, однако, отличается большим преобладанием плодородных почв: темно-серые, черноземовидные почвы занимают 64% [7].

Районирование территории области по Справочнику агроклиматического оценочного зонирования полностью согласуется с делением по Системе адаптивного земледелия [11]. Таким образом, территория подразделяется на 4 района (табл. 2).

Объекты и методы исследования

Данная работа опирается на официальные, используемые в государственной кадастровой оценке земель, данные. В качестве объектов исследования были взяты наиболее распространенные почвы областей из Шкал классификации земель, разработанных ВИСХАГИ для всех субъектов Российской Федерации. Шкалы классификации составлялись с учетом агроклиматического зонирования территорий по списку оценочных групп земельно-оценочного района субъекта РФ для каждой агроклиматической оценочной подзоны. Шкалы согласованы в территориальных управлениях Росреестра и являются основой для всех видов оценочных работ, для принятия управленческих решений федерального и муниципального

уровней. Шкалы включают в себя информацию о содержании гумуса (%), мощности гумусового горизонта (см), содержании физической глины (%), преобладающем уклоне рельефа местности (градус) разных типов и подтипов почв. Необходимо отметить, что основой для создания этих шкал послужила информация, полученная при проведении четвертого тура земельно-оценочных работ в России (1980–1986 гг.). Шкалы ВИСХАГИ являются областными списками почв, в настоящее время используются агрохимической службой для проведения почвенных обследований в регионах.

Расчет нормативной урожайности является неотъемлемым шагом для получения величин кадастровой стоимости. В то же время нормативная урожайность, как и балл бонитета почв относятся к основным критериям оценки качества и классификации земель по их пригодности для использования в сельском хозяйстве [12]. Вычисление нормативной урожайности проводится по следующей формуле:

$$НУ = 33,2 \times 1,4 \times \frac{АП}{10} \times K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_4, \quad (1)$$

где: НУ — нормативная урожайность зерновых культур, ц/га; АП — величина местного агроклиматического потенциала для зерновых культур; 10 — базовое значение АП; 33,2 — нормативная урожайность (ц/га) зерновых культур на эталонной почве, соответствующая нормам нормальных зональных технологий при базовом значении АП (10); 1,4 — коэффициент пересчета на уровень урожайности при интенсивной технологии возделывания; K1 — поправочный коэффициент на

Таблица 2

Районирование Омской области

Зона	Номер подзоны	Административные районы	Климат	Землепользование	Почвы	АП
Северная	4	Большеуковский, Знаменский, Седельниковский, Тарский, Тевризский, Усть-Ишимский	Прохладный, увлажненный, недостаточное количество тепла	Болота, леса, естественные сенокосы, пастбища	Дерново-подзолистые (преобладающий тип), серые лесные	5,1
Северная лесостепная	3	Большереченский, Крутинский, Колосовский, Муромцевский, Горьковский, Нижне-Омский, Называевский, Саргатский, Тюкалинский	Умеренно теплый, увлажненный	540 тыс. га пашни	Солонцовые комплексы, черноземы и темно-серые лесные (прииртышский, приомский увал)	5,1
Южно-лесостепная	2	Исилькульский, Москаленский, Марьяновский, Азовский, Омский, Кормиловский, Любинский, Калачинский, северная часть Щербакульского, Таврического, Оконешниковского	Теплообеспеченный, недостаточно увлажненный	1,03 млн га пашни	Серые лесные и черноземные	4,8
Степная	1	Нововаршавский, Одесский, Оконешниковский, Павлоградский, Полтавский, Русско-Полянский, Таврический, Черлакский, Щербакульский	Теплый засушливый	1,75 млн га пашни	Южные и обыкновенные черноземы	4,3

содержание гумуса в пахотном слое; K_2 — поправочный коэффициент на мощность гумусового горизонта; K_3 — поправочный коэффициент на содержание физической глины в пахотном слое; K_4 — поправочный коэффициент на негативные свойства почв; $[AP/10 \times K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_4]$ — модуль расчета бонитета почв

Для учета климатических параметров, используется агроклиматический потенциал, вычисленный для каждой агроклиматической оценочной подзоны [13]:

$$AP = \frac{\sum t > 10^\circ C \times (KY - P)}{KK + 100}, \quad (2)$$

где: $\sum t > 10^\circ C$ — сумма температур более $10^\circ C$; KY — коэффициент увлажнения; P — поправка к KY ; KK — коэффициент континентальности климата.

Расчет кадастровой стоимости осуществляется согласно методическим указаниям о государственной кадастровой оценке земель сельскохозяйственного назначения с использованием технических указаний [14] и специального программного обеспечения [15]:

$$КС = \frac{НУ \times P - (З_т + З_{пп})}{KK}, \quad (3)$$

где: P — рыночная стоимость сельскохозяйственной культуры, р/ц; $З_т$ — удельные затраты на воз-

делывание сельскохозяйственных культур, р/га; $З_{пп}$ — удельные затраты на поддержание плодородия почв, р/га; KK — коэффициент капитализации.

Результаты и обсуждение

Медианные значения нормативной урожайности зерновых культур представлены на рис. 1. Медианные значения нормативной урожайности Омской области выше значений Новосибирской области. Отличия начинаются от 3% для лугово-черноземных почв и доходят до 32% для темно-серых лесных почв. Исключением являются светло-серые лесные почвы.

Максимальные медианные значения нормативной урожайности характерны для темно-серых лесных почв (23,8 ц/га) в Омской области и черноземов оподзоленных (22,8 ц/га) в Новосибирской области. Относительно высокие медианные значения нормативной урожайности в Омской области свойственны также черноземам выщелоченным (22,9 ц/га), черноземам обыкновенным (20,3 ц/га), дерново-подзолистым (19,55 ц/га), серым лесным (19,4 ц/га), черноземам южным (19,3 ц/га), светло-серым лесным почвам (18,5 ц/га), в Новосибирской области — светло-серым (18,6 ц/га), серым (18,6 ц/га) и темно-серым лесным почвам (18,05 ц/га).

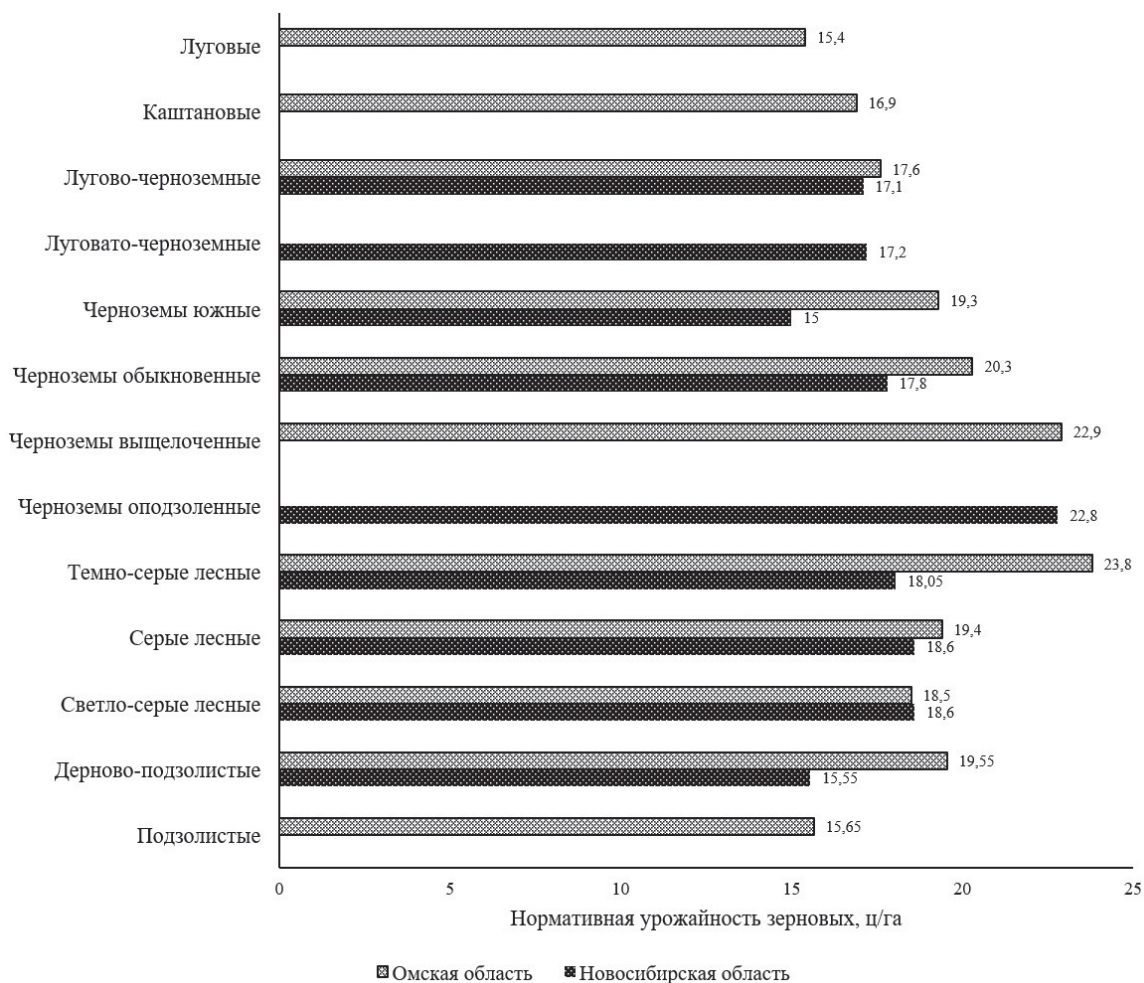


Рис. 1. Медианные значения нормативной урожайности зерновых культур

Более низкие медианные значения нормативной урожайности от 15,4 ц/га до 17,8 ц/га в Омской области имеют подзолистые, лугово-черноземные, каштановые и луговые почвы, в Новосибирской — черноземы обыкновенные, черноземы южные, дерново-подзолистые, лугово- и лугово-черноземные почвы.

В соответствии с индексом качества почв [16], определяемым по баллу бонитета, почвы Омской и Новосибирской областей относятся к трем классам качества: низкому, ниже среднего и среднему (табл. 3).

Результаты расчета удельных показателей кадастровой стоимости (далее УПКС) для основных

почв агроландшафтов Омской и Новосибирской области отображены в виде диаграмм размаха (рис. 2) и таблицы показателей (табл. 4).

Максимальные УПКС выявлены для черноземов оподзоленных (8,89 руб./м²) в Новосибирской области и черноземов выщелоченных в Омской области (7,96 руб./м²). Черноземы обыкновенные и темно-серые лесные почвы Омской области имеют схожие показатели, находящиеся на высоком для субъекта уровне (медианные УПКС — 2,41 руб./м² и 2,19 руб./м², соответственно). УПКС светло-серых лесных почв Новосибирской области значительно разнятся со светло-серыми лесными почвами Омской

Таблица 3

Балл бонитета почв

Почва	Омская обл.	Индекс качества почв	Новосибирская обл.	Индекс качества почв
Глееподзолистые	<20	Низкий	-	
Подзолистые	9 — 36	Низкий и ниже среднего	5 — 32	Низкий и ниже среднего
Дерново-подзолистые	2 — 46	Низкий, ниже среднего и средний	5 — 38	Низкий и ниже среднего
Торфянисто-подзолистые	15 — 15	Низкий	-	
Светло-серые лесные	5 — 40	Низкий и ниже среднего	28 — 43	Ниже среднего и средний
Серые лесные	5 — 42	Низкий, ниже среднего и средний	5 — 43	Низкий, ниже среднего и средний
Темно-серые лесные	5 — 53	Низкий, ниже среднего и средний	4 — 44	Низкий, ниже среднего и средний
Черноземы оподзоленные	-		45 — 53	Низкий, ниже среднего и средний
Черноземы выщелоченные	45 — 54	Низкий, ниже среднего и средний	-	
Черноземы обыкновенные	28 — 51	Низкий, ниже среднего и средний	15 — 40	Низкий и ниже среднего
Черноземы южные	22 — 43	Низкий, ниже среднего и средний	10 — 32	Низкий и ниже среднего
Луговато-черноземные	-		37	Ниже среднего
Лугово-черноземные	16 — 40	Низкий и ниже среднего	13 — 39	Низкий и ниже среднего
Темно-каштановые	19 — 28	Низкий и ниже среднего		
Каштановые	25 — 36	Низкий и ниже среднего		
Лугово-каштановые	<20	Низкий		
Луговые	14 — 33	Низкий и ниже среднего	9 — 30	Низкий и ниже среднего
Бурые полупустынные	<20	Низкий	-	
Болотные иловато-глеевые	<20	Низкий	-	
Лугово-болотные перегнойные	<20	Низкий	<20	Низкий
Лугово-болотные иловатые и иловато-глеевые	-		<20	Низкий
Солоди лугово-степные (дерново-глееватые)	<20	Низкий	-	
Солоди луговые (дерново-глеевые)	-		<20	Низкий
Солонцы лугово-черноземные	<20	Низкий	<20	Низкий
Солонцы черноземно-луговые	-		<20	Низкий
Солончаки луговые	-		<20	Низкий
Аллювиально-дерн.кисл. (в т.ч. зернистые)	<20	Низкий	<20	Низкий
Алл.дерн.насыщ.слоистые	<20	Низкий	<20	Низкий
Алл.дерн.насыщ. (в т.ч.зернистые)	<20	Низкий	<20	Низкий
Алл.луг.насыщ.слоистые	<20	Низкий	-	
Аллювиальн.луговые насыщ.	<20	Низкий	<20	Низкий
Аллювиальн.лугово-болотн.	<20	Низкий	<20	Низкий
Алл.болот.ил-торф.глеевые	<20	Низкий	-	

области (медианные УПКС — 2,22 руб./м² и 0,20 руб./м², соответственно), что связано с большим содержанием гумуса, большей мощностью гумусового горизонта, более тяжелым гранулометрическим составом Новосибирских светло-серых лесных почв. Обратный случай характерен для черноземов южных: в Омской области они имеют относительно высокие показатели (медианные УПКС — 1,64 руб./м²), в Новосибирской — низкие (медианные УПКС — 0,10 руб./м²). Высокие значения УПКС южных черноземов в Омской области обоснованы отсутствием негативных свойств в части выборки.

Серые лесные почвы областей имеют широкий размах значений, но невысокие медианы (0,25 руб./м² и 0,26 руб./м²), аналогично распределяются УПКС лугово-черноземных почв (медианы 0,87 руб./м² и 0,32 руб./м²). Подобные низкие значения специфичны для Западной Сибири, для СФО, в целом, присущи более высокие медианные значения для серых лесных (4,70 руб./м²) и лугово-черноземных почв (4,66 руб./м²) [17]. Это подтверждается УПКС Томской и Иркутской областей [18,19], Алтайского края [20]. Различия обусловлены большим количеством негативных свойств серых лесных и лугово-черноземных почв исследуемых в данной статье областей (смытость, засоленность, карбонатность, глееватость и глеевость).

Отдельные «представители» почв подзолистых, дерново-подзолистых, каштановых, луговых, аллювиальных дерновых насыщенных (в т.ч. зернистых) имеют средние значения для субъектов (до 2,85 руб./м²), однако в целом перечисленные почвы занимают низкие значения. Низкие УПКС каштановых и темно-каштановых почв сходны в Алтайском крае [20], где медианные значения почв не превышают 0,10 руб./м².

Минимальные показатели (менее 0,5 руб./м²) характерны для следующих почв субъектов: глееподзолистые, торфянисто-подзолистые, темно-каштановые, лугово-каштановые, бурые полупустынные, болотные иловато-глеевые, лугово-болотные перегнойные, лугово-болотные иловатые и иловато-глеевые, солоды лугово-степные (дерново-глеевые), солоды лугово-степные (дерново-глеевые), солонцы лугово-черноземные, солонцы черноземно-луговые, солончаки луговые, алл.дерн.кисл. (в т.ч. зернистые), алл.дерн.насыщ.слоистые, алл.луг.насыщ.слоистые, аллювиальн.лугово-болотные.

До этого момента обсуждение касалось всех почв агроландшафтов областей учета без учета их доли в почвенном покрове. Расчет средневзвешенного УПКС почв представлен в табл. 5. Доли почв взяты из рекомендаций [7].

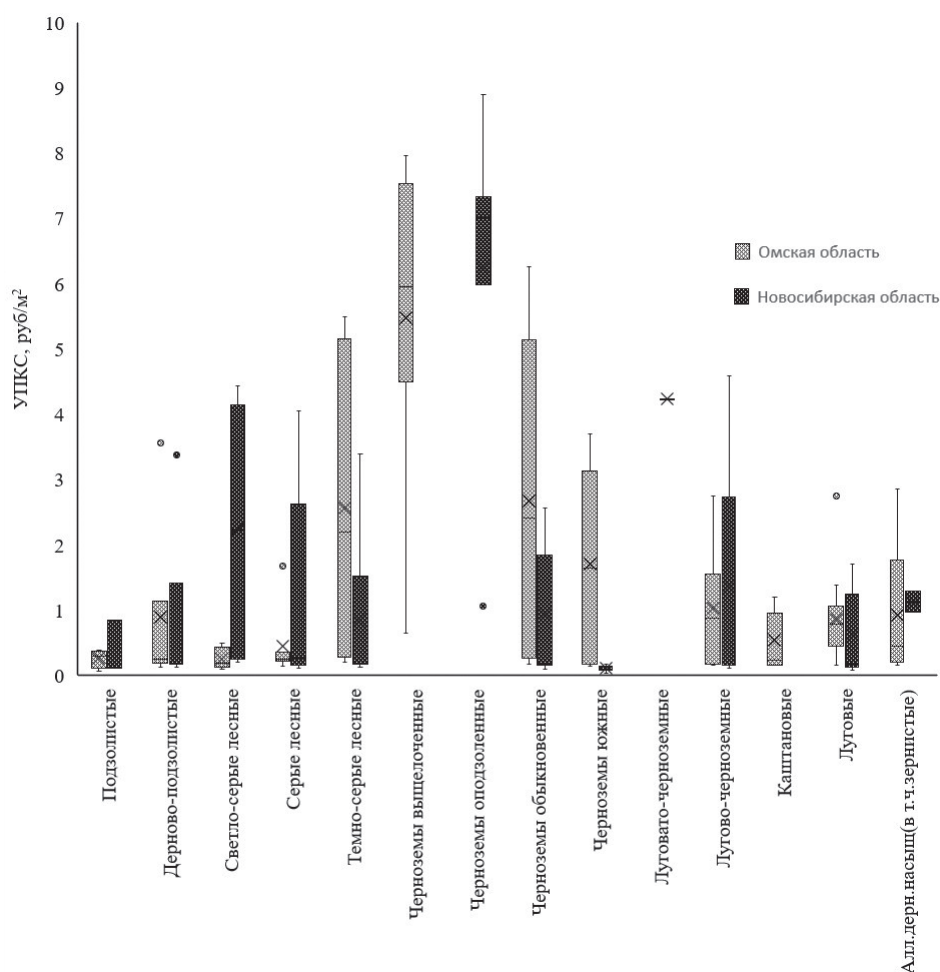


Рис. 2. Диаграмма размаха УПКС почв Омской и Новосибирской областей

Таблица 4

Кадастровая стоимость почв агроландшафтов, руб./м²

Почва	Омская область			Новосибирская область		
	мин.	мед.	макс.	мин.	мед.	макс.
Глееподзолистые	0.13	0.15	0.16			
Подзолистые	0.06	0.30	0.39	0.11	0.22	0.84
Дерново-подзолистые	0.13	0.25	3.61	0.12	0.43	3.37
Торфянисто-подзолистые	0.22	0.22	0.22			
Светло-серые лесные	0.10	0.20	0.50	0.21	2.22	4.43
Серые лесные	0.14	0.25	1.67	0.11	0.26	4.05
Темно-серые лесные	0.20	2.19	5.49	0.12	0.22	3.39
Черноземы оподзоленные				1.06	7.01	8.89
Черноземы выщелоченные	0.64	5.95	7.96			
Черноземы обыкновенные	0.18	2.41	6.26	0.09	0.17	2.56
Черноземы южные	0.14	1.64	3.69	0.04	0.10	0.17
Луговато-черноземные				4.23	4.23	4.23
Лугово-черноземные	0.16	0.87	2.75	0.11	0.32	4.59
Темно-каштановые	0.11	0.14	0.16			
Каштановые	0.15	0.24	1.20			
Лугово-каштановые	0.06	0.10	0.14			
Луговые	0.15	0.78	2.74	0.08	0.18	1.71
Бурые полупустынные	0.06	0.07	0.08			
Болотные иловато-глеевые	0.06	0.06	0.06			
Лугово-болотные перегнойные	0.16	0.17	0.22	0.24	0.24	0.24
Лугово-болотные иловатые и иловато-глеевые				0.10	0.11	0.12
Солоди лугово-степные (дерново-глееватые)	0.13	0.18	0.20			
Солоди луговые (дерново-глеевые)				0.18	0.30	0.42
Солонцы лугово-черноземные	0.05	0.08	0.11	0.03	0.05	0.10
Солонцы черноземно-луговые				0.03	0.06	0.07
Солончаки луговые				0.02	0.03	0.03
Алл.дерн.кисл(в т.ч.зернистые)	0.14	0.16	0.17	0.31	0.32	0.33
Алл.дерн.насыщ.слоистые	0.04	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04
Алл.дерн.насыщ(в т.ч.зернистые)	0.16	0.46	2.85	0.97	1.13	1.29
Алл.луг.насыщ.слоистые	0.07	0.08	0.08			
Аллювиальн.луговые насыщ.	0.13	0.38	1.06	0.16	0.39	1.61
Аллювиальн.лугово-болотн.	0.06	0.16	0.22		0.14	
Алл.бол.ил-торф.глеевые		0.22				

Таблица 5

Расчет средневзвешенного УПКС почв пашни Омской и Новосибирской областей

Область	Подзолистые, дерновые, серые и светло-серые		Темно-серые, черноземные в лесостепи		Черноземы южные, каштановые		Засоленные почвы		Средне-взвешенная стоимость, руб./м ²
	ср. значения, руб. / м ²	доля почв, %	ср. значения, руб. / м ²	доля почв, %	ср. значения, руб. / м ²	доля почв, %	ср. значения, руб. / м ²	доля почв, %	
Новосибирская	1.48	5	2.45	74	0.10	7	0.76	14	2.00
Омская	0.70	11	4.00	64	2.17	2	0.69	21	2.82

Средневзвешенная стоимость почв выше для Омской области на 41%, что сопряжено с высокими средними значениями темно-серых, черноземных, а также степных почв. Полученные средневзвешенные стоимости почв хорошо согласуются с приказами об утверждении результатов определения кадастровой стоимости областей [21,22]. Согласно которым средняя стоимость сельхозземель Новосибирской области — 2,15 руб./м², Омской области — 2,39 руб./м².

По отношению к европейской части России кадастровая стоимость рассматриваемых субъектов является низкой [23].

Заключение

Медианные значения нормативной урожайности Омской области выше значений Новосибирской области на 3–32%. Максимальные медианные значения нормативной урожайности характерны для темно-серых лесных почв (23,8 ц/га) в Омской области и черноземов оподзоленных (22,8 ц/га) в Новосибирской области.

Балл бонитета почв областей составляет от 2 до 54, что соответствует трем классам качества: низкому, ниже среднего и среднему.

Максимальные УПКС выявлены для черноземов оподзоленных (8,89 руб./м²) в Новосибирской области и черноземов выщелоченных в Омской области (7,96 руб./м²). Минимальные показатели (менее 0,5 руб./м²) соответствуют ряду почв от глееподзолистых до солонцов.

Для серых лесных и лугово-черноземных почв областей характерны низкие значения, в отличие от других субъектов СФО, что связано с их негативными свойствами.

Средневзвешенная кадастровая стоимость почв Омской и Новосибирской области составляет 2,00 руб./м² и 2,81 руб./м² соответственно. Стоимость почв Омской области выше стоимости почв Новосибирской на 41%, что сопряжено с высокими средними значениями темно-серых, черноземных, а также степных почв.

По отношению к европейской части России уровень кадастровой стоимости рассматриваемых субъектов можно назвать низким.

Исследование выполнено в рамках госзадания МГУ имени М.В. Ломоносова.

Литература

1. Сапожников П. М., Рыбальский Н. Г. Итоги и основные проблемы в кадастровой оценке земель сельскохозяйственного назначения // Использование и охрана природных ресурсов в России, 2024. № 4. — С. 91–95.
2. Приказ Росреестра от 04.08.2021 № П/0336 «Об утверждении Методических указаний о государственной кадастровой оценке».
3. Единый государственный реестр почвенных ресурсов России. Утв. Минсельхозом России. Версия 1.0. — Москва; Тула: Почвенный институт, Гриф и К, 2014. — 760 с.
4. Приказ Минэкономразвития России от 12.05.2017 № 226 (ред. от 09.09.2019) «Об утверждении методических указаний о государственной кадастровой оценке».
5. Единый государственный реестр почвенных ресурсов России. Утв. Минсельхозом России. Версия 1.0. — Москва; Тула: Почвенный институт, Гриф и К, 2014. — 760 с.
6. Государственный национальный доклад о состоянии и использовании земель Российской Федерации в 2023 году. — Rosreestr.gov.ru.
7. Межрегиональная схема размещения и специализации сельскохозяйственного производства в субъектах Российской Федерации СФО: рекомендации. — Новосибирск; СО АН, 2016. — С. 255.
8. Адаптивно-ландшафтные системы земледелия Новосибирской области. — Новосибирск: СибНИИЗ-Хим. 2002. — 388 с.
9. Органическое земледелие как одно из приоритетных направлений устойчивого развития сельского хозяйства Новосибирской области // Международный сельскохозяйственный журнал, 2022. Т. 65. № 2 (386). — С. 129–132.
10. Справочник агроклиматического оценочного зонирования субъектов Российской Федерации / Под ред. С. И. Носова. — М., 2010. — 198 с.
11. Система адаптивного земледелия Омской области. — Омск: Омский АНЦ; Изд-во ИП Макшеевой Е. А., 2020. — 522 с.
12. ГОСТ Р 70229–2022. Показатели качества почв для проведения мониторинга и кадастровой оценки земель, используемых в сельскохозяйственном производстве. — М., 2020.
13. Карманов И. И., Булгаков Д. С. Методика почвенно-агроклиматической оценки пахотных земель для кадастра. — М., 2012. — 119 с.
14. Сапожников П. М., Носова С. И. Государственная кадастровая оценка земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации. — М.: НИПКЦ «ВОСХОД — А», 2012. — С. 160.
15. Пшеничников А. П., Носов С. И., Оглезнев А. К. и др. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. № 2019611028. «Кадастровая оценка земель сельскохозяйственного назначения», 2019.
16. Столбовой В. С., Гребенников А. М. Индикаторы качества почв пахотных угодий РФ // Бюлл. Почвенного института им. В. В. Докучаева. 2020. Вып. 104. — С. 31–67.
17. Сапожников П. М., Данилова Н. И. Дифференциация кадастровой стоимости земель Сибири // Проблемы плодородия почв в современном земледелии: Матер. Междун. конф., посвященной 70-летию освоения целинных и залежных земель (24–28 июня 2024 г.). — 2024. — Красноярск: ФИЦ КНЦ СО РАН, 2024. — С. 84–87.
18. Сапожников П. М., Хлопцов Д. М., Данилова Н. И. Дифференциация почв земель сельскохозяйственного назначения Томской области по кадастровой стоимости // Использование и охрана природных ресурсов в России, 2021. № 2. — С. 24–31.
19. Сапожников П. М., Гранина Н. И. Особенности кадастровой стоимости почв земель сельскохозяйственного назначения агроландшафтов Иркутской области // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение, 2021. № 1. — С. 3.
20. Сапожников П. М., Корсикова С. А., Кононцева Е. В. Анализ кадастровой стоимости сельскохозяйственных угодий Алтайского края // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение, 2024. Т. 79. № 4. — С. 81–91.
21. Приказ Департамента имущества и земельных отношений Новосибирской области от 20.10.2022 № 3017 «Об утверждении результатов определения кадастровой стоимости земельных участков на территории Новосибирской области и среднего уровня кадастровой стоимости по муниципальным районам и городским округам Новосибирской области».
22. Приказ Министерства имущественных отношений Омской области от 09.09.2022 № 78-п «Об утверждении результатов определения кадастровой стоимости земельных участков, расположенных на территории Омской области».
23. Сапожников П. М., Шехтер К. П., Данилова Н. И. Дифференциация кадастровой стоимости земель в агроландшафтах гумидных, аридных и полуаридных территорий Российской Федерации // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение, 2023. № 2. — С. 46–55.

Сведения об авторах:

Корсикова София Александровна, аспирант кафедры физики и мелиорации почв Факультета почвоведения МГУ им. М. В. Ломоносова; e-mail: sofia.korsikova@yandex.ru.

Сапожников Петр Михайлович, д.с.-х.н., проф., в.н.с. кафедры физики и мелиорации почв Факультета почвоведения МГУ им. М. В. Ломоносова.

Агроэкология

EDN URMPMO

УДК 502/504+581

Загрязнение почв придорожных территорий тяжелыми металлами в Калининградской области

Т.Н. Троян¹, к.б.н., Д.Д. Самуйлова^{1,2}, О.М. Бедарева¹, д.б.н.,
¹Калининградский государственный технический университет,
²Центр агрохимической службы «Калининградский»

В статье рассмотрена проблематика загрязнения дерново-подзолистых супесчаных почв тяжелыми металлами I и II классов опасности (медь, свинец, цинк, мышьяк, ртуть, никель, кадмий) зон, прилегающих к автодорогам с разной интенсивностью движения транспорта. Акцент сделан на определении элементов в почвах придорожных территорий, являющихся первичным «полем приёма» поллютантов, поступающих в окружающую среду при эксплуатации автомобильного транспорта, дорожного покрытия: при стирании шин высвобождаются цинк, кадмий, свинец; при износе тормозных колодок — медь, цинк; с выхлопными газами в аэросреду поступает свинец, никель; антигололедные реагенты могут содержать кадмий. Результат выражен в числовых значениях валового содержания тяжелых металлов в почвах на глубине 0–10 см и последующим сравнительным анализом с предельно допустимыми концентрациями (СанПиН 1.2.3685–21).

Ключевые слова: тяжелые металлы, загрязнение почв, дерново-подзолистые почвы, придорожная территория.

Введение

Тяжелые металлы — поллютанты, загрязняющие геосистемы, в которых именно почвенный покров, как правило, служит основным приемником и аккумулятором элементов [1, с.27; 2, с.122]. Их негативное воздействие может быть прямым или косвенным. Тяжелые металлы в концентрациях, характерных для микроэлементов, играют важную роль в обменных процессах, но в высоких концентрациях находятся не пределах оптимума экосистемы, вызывают загрязнение почвенной среды [3, 4, с. 131, 132]. В первом случае подавляется активность ферментов в почве в три раза. Косвенное воздействие проявляется в переводе питательных веществ в недоступное для растений состояние и снижает активность почвенных микроорганизмов.

Способность поллютантов к динамическому распространению на удаленные расстояния по воздуху делает их объектом исследований [5, с. 275–276; 6, с.05978; 7, с.1290]. Активное внедрение загрязнителей в биогеоценозы подтверждают исследования почв городских территорий, особенно с промышленной историей (металлургической, горнодобывающей, химической и маши-

ностроительной), техногенно-измененных грунтов придорожных территорий, в местах нефтяных, водных, аэральных загрязнений, независимо от рельефа и местности (нагорных и равнинных территорий) [8, с. 14965].

В сельском хозяйстве загрязнение происходит при использовании минеральных удобрений и пестицидов, содержащих тяжелые металлы, также источником загрязнения может быть орошение загрязненной водой.

Учитывая, что вся протяженность дорог общего пользования в Калининградской области в 2024 году составила 9,1 тыс. км, что выше на 11 % по отношению к 2013 г. [9]. Общая площадь земель придорожных зон до 50 м вдоль автодорог огромно, поскольку на протяженность дороги в 1 км площадь придорожной зоны с двух сторон составляет 100 га. Потому актуальность проблематики загрязнения химическими элементами почв природных и сельскохозяйственных ландшафтов [10, с.714], через которые простираются дороги с твердым асфальтовым покрытием, высокая, так как представляет собой негативный эффект техногенного характера.

Цель работы — оценка загрязнения почв придорожной территории тяжелыми металлами в условиях Калининградской области.

Придорожные территории — это земельные участки (их части), примыкающие к придорожной полосе или полосе отвода, на которые оказывает влияние транспортный поток автомобильной дороги [11, с.84–85].

Объекты и методы

Объект исследования — верхний почвенный горизонт фитоценозов естественных кормовых угодий в придорожной зоне автотранспортных путей с разной степенью нагрузки в условиях Калининградской области.

Для мониторинга выбрано три ключевых участка с разной степенью антропогенной нагрузки по направлениям: Калининград — Зеленоградск, Калининград — Черняховск и Калининград — п. Заречье (в направлении г. Полесска). Первый ключевой участок с наибольшей степенью техногенной нагрузки находится по направлению Калининград — Зеленоградск в районе съезда на аэропорт Храброво, вдоль автотрассы А-217 около пос. Отрадное (координаты 54.859733, 20.553003).

Второй ключевой участок по направлению Калининград — Черняховск, с нагрузкой в три раза ниже по сравнению с первым, расположен вдоль автотрассы А229 около пос. Куйбышевское (координаты 54.647353, 21.280113).

Третий участок расположен по направлению Калининград — п. Заречье, с очень низкой загруженностью до 5–6 автомобилей в час, расположен вдоль автотрассы 27К-076 около п. Азовское (координаты 54.777290, 20.837314) (рис.).

Придорожная территория на расстоянии 5 м от дороги представляет собой видоизмененный почвенный покров, лишенный естественной растительности по типу «техногенной пустыни»

с постепенным формированием естественного растительного буфера «дорога — буфер — почва — растение — человек» [2, с. 122].

Гипотеза «чем больше расстояние от дороги, тем содержание тяжелых металлов обычно уменьшается» имеет доказательный характер [2, с. 123–126; 12, 57–59; 13, с.275; 14, с.45]. Опираясь на это мониторинг ориентирован на исследование почв, близко расположенных к дорогам.

Отбор проб почв производился к середине протяженности дороги по отношению к удаленности от окраины областного центра — г. Калининграда (19-й, 30-й, 52-й км) 08.06.2024 г. после зоны «высокой экологической подверженности» почв придорожной территории (расстояние 5 м от автомобильной дороги [2, с.123–127]) — на удаленности 10 м в 4-х кратной повторности на глубину A_{0-20} при температуре воздуха 17 °С.

В работе были использованы ГОСТ 17.4.3.01 — Охрана природы почвы. Общие требования к отбору проб. Определение массовой доли кислоторастворимых форм металлов в пробах почв по РД 52.18.191–2018. «Методические указания по определению мышьяка в почвах, фотометрическим методом» (утв. Минсельхозом России 26.02.1993 г.). Непламенный атомно-абсорбционный метод определения ртути в почвах, донных отложениях, органических и минеральных удобрениях, почвогрунтах, торфах, активном иле, в твердых и жидких отходах производства и потребления (Калининград, 2011).

Результаты и обсуждение

В последние два десятилетия значительно возросло количество транспортных средств. Автотранспортная нагрузка увеличивается по мере движения в сторону городов. На одной и той же дороге вблизи крупного города, количество транспорта максимально высокое, тогда как при удален-



Рис. Схема мониторинговых площадок (ключевых участков)

ности от него, напротив, постепенно снижается. Такая тенденция в некоторых случаях сохраняется и на автодорогах федерального значения.

В результате износа шин, тормозных колодок, протечки технических жидкостей, выхлопа газов двигателей, применения антигололедных реагентов, и даже через бытовой мусор а, в отдельных случаях, разравнивания привезенных снятых грунтов на обочинах и кюветах при строительстве дорог, формируется потенциальная группа возможных источников загрязняющих веществ, которые с наибольшей вероятностью при аэродинамическом движении воздуха и/или таянии снега и стока сточных вод, подвергаются транспорту по поверхности прилегающих территорий, что и есть предмет высокой антропогенной нагрузки на объект исследования [12, с. 57–58; 15, с. 128–130; 16, с. 178–180].

Результат почвенных анализов на валовое содержание тяжелых металлов в дерново-подзолистых супесчаных почвах носит, на первый взгляд, неоднозначный характер, поскольку на ключевом участке с минимальным автотранспортным потоком превышения ПДК зафиксировано по пяти из семи определяемым параметрам, тогда как на больших шестиполосных дорогах экологическая картина благоприятней (табл. 1, 2).

Установлено, что на участке Калининград — п. Заречье (в направлении г. Полесск) превышают пределы допустимой концентрации следующие элементы: кадмий на 0,03 мг/кг, никель на 6,8 мг/кг, цинк на 23,7 мг/кг, медь 6,1 мг/кг и мышьяк на 0,6 мг/кг, на участке Калининград — Зеленоградск за границы ПДК выходят никель на 1,7

мг/кг, цинк на 16,5 мг/кг и медь на 1,5 мг/кг, на участке Калининград — Черняховск выше нормы никель на 0,7 мг/кг, цинк на 2,0 мг/кг и медь на 0,5 мг/кг.

Нормируемое значение ОДК Рв для супесчаных почв по ГН 2.1.7.2511–09 составляет 32 мг/кг. Все образцы значительно ниже этого уровня.

Результат оценки актуального состояния на предмет загрязнения почв A_{0-20} исследуемыми элементами установлено, что элементы I класса опасности, такие как цинк на всех участках и мышьяк на участке Калининград-Полесск превышают ПДК; элементы II класса опасности, такие как медь и никель на всех ключевых участках выше ПДК. А свинец и ртуть на всех участках и мышьяк на участках Калининград-Зеленоградск и Калининград-Черняховск, относящиеся к I классу опасности, находятся в экологически безопасных пределах.

Заключение

Тип загрязнений придорожных территорий относится к локальному. Гипотеза о том, что «чем выше интенсивность движения, тем больше выбросов тяжелых металлов» к исследуемой территории не соответствует. Об этом свидетельствуют актуальные результаты исследования на ключевом участке с очень низкой автотранспортной нагрузкой.

Оценочные ряды по ключевым участкам имеют следующий вид:

Калининград — Зеленоградск: $Hg < Pb < Cd < As < Zn < Cu < Ni$;

Калининград — Черняховск: $Hg < Pb < Cd < As < Ni < Cu < Zn$;

Таблица 1

Оценка загрязнения почв пахотного горизонта валовыми формами тяжелых металлов, мг/кг

Элемент	ПДК	Калининград-п. Заречье	+ / - ПДК	Калининград-Зеленоградск	+ / - ПДК	Калининград-Черняховск	+ / - ПДК
Cu	3,0	9,1±0,5	▲	4,5±0,5	▲	3,5±0,3	▲
Ni	4,0	10,8±0,3	▲	5,7±0,2	▲	4,7±0,1	▲
Zn	23,0	46,7±13,9	▲	39,5±5,9	▲	25,0±3,7	▲
Pb	32,0	14,2±0,6	▼	6,5±0,7	▼	6,0±0,5	▼
Cd	0,5	0,53±0,07	▲	0,43±0,04	▼	0,38±0,03	▼
As	2,0	2,6±0,3	▲	1,6±0,1	▼	1,6±0,1	▼
Hg	2,1	0,057±0,002	▼	0,014±0,002	▼	0,014±0,003	▼

Таблица 2

Оценка актуального состояния на предмет загрязнения пахотного горизонта исследуемыми элементами

Ключевой участок	Элемент						
	Cu	Ni	Zn	Pb	As	Hg	Cd
Калининград — п. Заречье (30-й км)	II	II	I	I	I	I	I
Калининград — Черняховск (52 км)	II	II	I	I	I	I	I
Калининград — Зеленоградск (19-й км)	II	II	I	I	I	I	I

Примечание: I — «высокая степень опасности»; II — «средняя степень опасности»

- ☐ превышение ПДК
☐ содержание элемента в экологически безопасных пределах

Калининград — п. Заречье : Hg < Pb < Cd < As < Zn < Ni < Cu.

Экотоксикологический эффект, выявленных валовых значений тяжелых металлов в почвах, на живые организмы, для которых придорожные площади выступают средой обитания, остается открытым предметом исследования, так как загряз-

нение почвенной среды носит долговременный характер, и при условии дальнейшего нарастания и нерегулирования процессов воздействия, будет наблюдаться переход с локального уровня воздействия, с изменением дальнейшей неустойчивости структурно-функционального уровня особенностей [17, с. 11].

Литература

1. *Ахметжанова З.Х., Дуйсебаева К.Д., Киргизбаева М.М.* Процессы миграции тяжелых металлов в ландшафтах Мангистауской области Казахского Прикаспия // Актуальные вопросы современной науки, 2014. № 36. — С. 27–38.
2. *Рагимов А.О., Мазиров М.А., Шентерова Е.М., Зунимаймайти А.* Особенности аккумуляции тяжелых металлов в почвенном покрове придорожной территории автомобильной трассы на примере Судогодского района Владимирской области // Успехи современного естествознания, 2019. № 12. — С. 122–127. DOI 10.17513/use.37278.
3. *Godwin A. E., Helen S. Etuk, Idongesit B. Anweting, Anietie E. Ekot, Aniefiok E. Ite.* Relationship between traffic density, metal accumulation, pollution status, and human health problems in adjoining soils and vegetables within the South-South Region of Nigeria // International J. of Environment, Agriculture and Biotechnology, 2023. V. 8. Iss. 3. DOI: 10.22161/ijeab.
4. Оценка влияния выбросов автотранспорта на качество почвенного покрова придорожной территории / А.А. Шайхутдинова, Г.А. Искалиева, Т.С. Самаркина и др. // Теоретические и прикладные вопросы комплексной безопасности: I Междунар. научно-практ. конф. (28 марта): материалы. — СПб: Петровская академия наук и искусств, 2018. — С. 131–136.
5. *Martsev A. A., Selivanov O. G.* Evaluation of soils of the roadside territory area of the federal highway on the maintenance of heavy metals, arsenic and fluoride ions // Hygiene and Sanitation, 2022. V. 101. N.3. — Pp. 275–280. DOI: 10.47470/0016–9900-2022–101-3–275-280.
6. *Poznanović S., Gulan M., Sakan A. et al.* The origin of toxic elements, environmental risk and new methods on prediction of weathering processes: case study of roadside soils (highway E75, Vojvodina, Serbia) // Int. J. Environ. Sci. Technol, 2024. N2. — P. 05978. DOI: 10.1007/s13762–024-05978-x.
7. *Skorbiłowicz M., Skorbiłowicz E., Rogowska W.* Heavy Metal Concentrations in Roadside Soils on the Białystok-Budzisko Route in Northeastern Poland // Minerals, 2021. N11 (11). — P. 1290. DOI:10.3390/min11111290.
8. *Siwei An, Nantao Liu, Xianming Li, Shufang Zeng, Xun Wang.* Understanding heavy metal accumulation in roadside soils along major roads in the Tibet Plateau // Dingyong Wang a Science of The Total Environment, 2023. V. 802. N1. — P. 149865. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.149865.
9. За 10 лет протяженность дорог общего пользования в Калининградской области выросла на 11 %. URL: <https://rugrad.online/news/1343038/> (дата обращения: 27.02.2025).
10. *Мяделец М.А., Сиромля Т.И.* Особенности экологического состояния почвенно-растительного покрова вдоль автомагистралей и в рекреационных зонах г. Новосибирска // Современные проблемы науки и образования, 2015. № 5. — С. 714.
11. *Антоненко Е.В., Мельничук А.Ю.* Терминологические аспекты земельно-оценочных работ придорожных территорий // EurasiaScience: XXXIV Междунар. научно-практ. конф. (31 дек.): тр. — М.: ООО «Актуальность.РФ», 2020. Ч. 1. — С. 84–86.
12. *Синдирева А.В., Терентьев Г.Р.* Экологическая оценка содержания тяжелых металлов и нефтепродуктов в почвах придорожных территорий города Тюмени // Социально-экологические технологии, 2023. Т. 13. № 1. — С. 57–76. DOI 10.31862/2500–2961-2023–13-1–57-76.
13. *Martsev A. A., Selivanov O. G.* Evaluation of soils of the roadside territory area of the federal highway on the maintenance of heavy metals, arsenic and fluoride ions // Hygiene and Sanitation, 2022. V. 101. N.3. — Pp. 275–280. DOI: 10.47470/0016–9900-2022–101-3–275-280.
14. *Каменщикова В.И.* Влияние техногенного загрязнения на биофизические и биохимические свойства дерново-подзолистых почв таежно-лесной зоны // Вестник Пермского университета. Серия: Биология, 2012. № 2. — С. 45–50.
15. *Троян Т.Н., Руднев А.А.* Оценка эдафотопических условий придорожной территории в агрофитоценозе озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) // Балтийский морской форум (30 сент.-04 окт. 2024 г.). В 6 томах. Т. 1. «Инновации в науке, образовании и предпринимательстве-2024». — Калининград: Изд-во БГАРФ, 2024. — С. 125–130.
16. *Кузьменко Е.Д.* Влияние загрязнения почв тяжелыми металлами на процесс фотосинтеза растений // Фундаментальные и прикладные исследования молодых учёных: VI Междун. конф. студентов, аспирантов и молодых учёных (10–11 февр.): матер. — Омск: СибГАДУ, 2022. — С. 177–180.
17. *Артемов А.А., Бедарева О.М., Калина А.А., Троян Т.Н.* Оценка загрязнения почв в экосистемах придорожной территории природных ландшафтов Куршской косы // Проблемы региональной экологии, 2024. № 1. — С. 5–11.

Сведения об авторах:

Троян Татьяна Николаевна, к.б.н., доцент кафедры «Агрономия и агроэкология», Калининградский государственный технический университет (КГТУ); e-mail: tatyana.troyan@klgtu.ru.

Самуйлова Дарья Дмитриевна, магистрант кафедры «Агрономия и агроэкология» КГТУ; гл. агрохимик Центра агрохимической службы «Калининградский»; e-mail: ungdora2021@mail.ru.

Бедарева Ольга Михайловна, д.б.н., проф., завкафедрой «Агрономия и агроэкология» КГТУ; e-mail: olga.bedareva@klgtu.ru.

Подходы к оценке экологических рисков на постагрогенных землях

С.Г. Парамонов, к.б.н., Санкт-Петербургский государственный химико-фармацевтический университет Минздрава России, Российская экологическая академия

Рассматривается проблема заброшенных сельскохозяйственных земель: экологические риски, появляющиеся в результате постагрогенной сукцессии. При этом риски, связанные с заброшенными сельскохозяйственными землями, возникают не только для непосредственного владельца земельного участка, но и распространяются на соседние участки. Целью работы является определение подходов к оценке экологических рисков, возникающих в результате постагрогенной трансформации неиспользуемых сельскохозяйственных земель в таежной зоне Северо-Запада РФ. Задачи: выявление экологических рисков указанных земель, разделение на категории и определение методов для оценки экологических рисков. Произведен анализ факторов риска. Выявлены основные направления оценки экологических рисков в зависимости от субъекта для данных категорий земель.

Ключевые слова: залежи, постагрогенная сукцессия, риск, экологические риски, оценка риска.

Введение

С 90-х годов прошлого века увеличилось количество заброшенных сельскохозяйственных земель (залежей), зарастающих дикой, часто древесно-кустарниковой, растительностью в результате постагрогенной сукцессии. Особенно высок процент площадей залежей в Северо-Западном федеральном округе [1].

Экологические риски связаны с вероятностью потери денежных средств в результате ухудшения состояния окружающей среды. При этом риски, связанные с заброшенными сельскохозяйственными землями, возникают не только для непосредственного владельца земельного участка, но и распространяются на соседние участки. Таким образом, оценка отдельных экологических рисков для данных объектов может рассматриваться как с точки зрения владельца участка, так и с точки зрения владельца соседнего участка, и администрации региона в целом.

Целью работы является определение подходов к оценке экологических рисков, возникающих в результате постагрогенной трансформации неиспользуемых сельскохозяйственных земель в таежной зоне Северо-Запада РФ. Задачи: выявление экологических рисков указанных земель, разделение на категории и определение методов для оценки экологических рисков.

Материалы и методы

На основе выводов и закономерностей других авторов, и на материалах наших предыдущих публикаций, основанных на наблюдениях за сукцессией постагрогенных экосистем в Псковской области в период с 2003 по 2024 год, сделан обзор современных методов оценки экологических рисков для отдельных направлений и определены подходы к оценке экологических рисков для постагрогенных экосистем.

Результаты исследования

В результате исследования выделены следующие основные направления экологических рисков.

Риск повышенной пожарной опасности. В исследованиях указывают на регулярную горимость, вызванную антропогенными факторами данных участков [2, 3]. Залежам и/или хвойным молоднякам, образующимся на них, в ряде классификаций присваивается наиболее высокий первый класс опасности [4–6], и рекомендуют принимать меры, не допускающие выход огня на соседние участки.

Можно выделить два основных фактора повышающих пожарную опасность залежей:

— повышенное количество горючего материала, в первую очередь сухого травяного опада весной и хвойных молодняков с сухими нижними ветвями, а в некоторых случаях захламленность участков мусором [3, 7];

— близость к населенным пунктам, где высока вероятность антропогенного возгорания, случайного, а зачастую и намеренного, пускания неконтролируемых весенних палов [8, 9].

Регулярные палы влияют на ход постагрогенной сукцессии и смену видового разнообразия. При регулярных палах преимущество получает молодое поколение сосны, и сокращается подрост лиственных. А также снижается разнообразие травянистых растений [2].

Риск низового пожара уменьшается по достижению стадии сомкнутости древостоя на значительной части земельного участка, что связано со снижением количества сухого биоматериала (травяного опада) под пологом древостоя. Однако в случае преобладания в данном древостое сосны повышенный риск пожарной опасности сохраняется.

Таким образом, постагрогенные экосистемы являются источником высокого риска пожарной опасности до стадии сомкнутости, а в случае успешного возобновления сосной и после.

Изменение биоразнообразия. Здесь можно выделить несколько аспектов и этапов:

1. На начальном этапе появление сорной растительности, связанное с заселением изначально монокультурной площади. Что с одной стороны увеличивает биоразнообразие по сравнению

с монокультурой, но имеет более низкое биоразнообразие по сравнению с природными экосистемами [10], а с другой дает возможности для экспансии нежелательных видов растений [11–13].

2. На этапе сомкнутости древостоя, образовавшегося на заброшенной сельскохозяйственной территории, снижается скорость депонирования углерода почвой, в связи с сокращением травяного опада и преобладанием модергумусного опада над мультгумусным. Сохранение плужной подошвы, как остаточное явление после длительного сельскохозяйственного использования, может влиять на распространение отдельных видов растений. Также этому этапу будет сопутствовать изменение гидрологического режима рек, как косвенное следствие смены открытых сельскохозяйственных полей лесными экосистемами, что можно рассматривать и как положительный, и как отрицательный аспект постагрогенной сукцессии.

В ряде случаев залежи образуются после засева отдельными видами сельскохозяйственных культур. Некоторые из культур стали или могут стать нежелательным инвазивным видом для данной территории. К подобным видам относят: борщевик Сосновского (*Heracleum Sosnowskyi*) [14, 15], золотарник канадский (*Solidago canadensis*) [16, 17], люпин многолистный (*Lupinus polyphyllus*) [18–20], и ряд других видов. Так на наблюдаемом нами объекте [21] подобной культурой был люпин многолистный оставленный на заброшенном поле с 2001 года. Вследствие высокой конкурентной способности он не только сохранился в течение более 20 лет на большей части засеянного поля, но и распространился на ряд соседних экосистем.

Распространению нежелательных инвазивных видов и сорной растительности способствует изначально низкое биоразнообразие и слабая конкуренция аборигенных видов на заброшенных сельскохозяйственных землях.

Также к проблеме изменения биоразнообразия следует отнести зарастание данных земель нежелательной древесно-кустарниковой растительностью. В этом случае потребуется или изменять целевое назначение и использование земель, или проводить меры по ликвидации нежелательной древесно-кустарниковой растительности.

Для решения проблемы распространения нежелательных инвазивных и сорных видов требуется ряд агротехнических, лесотехнических или агрохимических мероприятий, что в свою очередь создаст сопутствующие данным мероприятиям экологические риски.

Вышеописанные риски являются актуальными не только для самих заброшенных сельскохозяйственных земель, но и для соседствующих с ними земель.

Риски, связанные с загрязнением и изменением структуры почвы. Такие риски можно отнести к рискам, появляющимся непосредственно на заброшенных сельскохозяйственных землях.

К ним можно отнести загрязнение тяжелыми металлами [7, 22], нефтепродуктами, пестицидами [18, 23, 24] и избыточными дозами минеральных удобрений [24, 25]. В отдельных случаях на пастбищах или землях, удобряемых навозом, может присутствовать загрязнение ветеринарными препаратами [26, 27], такими как тетрациклин [28]. Также в ряде случаев на рассматриваемых землях в почве есть вероятность повышенного содержания болезнетворных микроорганизмов [24, 29].

Изменение структуры почвы связано с одной стороны с остаточным пахотным горизонтом [30] и сохранением плужной подошвы, влияющей на биоразнообразие [31]. А с другой — с начальными стадиями постагрогенной сукцессии, которые в некоторых случаях сопровождаются образованием дернового слоя [30, 32, 33].

Впоследствии, на дальнейших стадиях зарастания древесной растительностью, отмечается снижение содержания и скорости депонирования углерода, что ведет к снижению гумусности почв по сравнению с молодой залежью, которая, тем не менее, выше, чем в исходной пашне [10]. Дальнейшая сукцессия снова повышает количество углерода и других биогенных веществ, что связано с увеличением количества лесного опада.

Можно предположить, что в конечной стадии постагрогенной сукцессии данные экосистемы вернутся в исходное состояние, характерное для естественных природных экосистем.

Риски для отдельных отраслей народного хозяйства. Рассмотрим в качестве примера экологические риски для пчеловодства. Зарастающие сельскохозяйственные угодья для пчеловодства [34], ведущегося на прилегающих участках, являются источником косвенных рисков и заключаются в:

- изменении времени взятка (смещении периода сбора нектара с середины лета (июнь-начало августа), соответствующего цветению луговых медоносов, на раннелетний (ивы) и позднелетний (вереск), что влечет за собой изменение календаря пасечных работ и принципиально иных подходов к подготовке пчелиных семей к периоду взятка);
- повышении вероятности сбора падевого меда и сопутствующего ему падевого токсикоза у пчел;
- переходе на взятки с вереска в отсутствие прочих позднелетних медоносов и сопутствующих данному виду корма рисков при зимовке пчелиной семьи.

С другой стороны, для охотничьего хозяйства постагрогенные экосистемы являются положительным фактором, увеличивающим кормовую базу для ряда лесных охотничьих животных, питающихся зимой веточным кормом или почками (лось, заяц, тетерев) [35].

Для сбора лекарственных растений соответственно на первый план выходят риски загрязнения остаточным содержанием пестицидами [23], тяжелыми металлами и остатками удобрений.

Методики оценки экологических рисков. Таким образом, обзор направлений исследования экологических рисков постагрогенной трансформации сельскохозяйственных земель является разнонаправленным и требует дифференциального подхода к исследованию в зависимости от целей исследователя.

Опираясь на методику оценки экологических рисков на основе разнородных данных [36], можно предложить разделение экологических рисков для дифференцированной оценки следующим образом:

1) риски, связанные с постагрогенной сукцессией для соседних участков, общие:

- риски повышения пожарной опасности;
- риски распространения нежелательной растительности и фауны;

2) риски, связанные с остаточным загрязнением и трансформацией почвы, локальные, присутствующие рассматриваемому участку:

- риски загрязнения остаточными пестицидами, химическими удобрениями и ветеринарными препаратами;
- риски сохранения и увеличения численности болезнетворных микроорганизмов;
- риски постагрогенной трансформации почвенного профиля и мелиоративной системы;

3) риски для отдельных направлений хозяйственной деятельности.

Опираясь на статистические данные и экспертные мнения, используя пятиуровневую шкалу уровня вероятности возникновения ущерба можно оценить указанные риски. Для получения комплексной оценки риска необходимо привести значения показателей ущерба к единой дискретной шкале оценок.

Так, например, ущерб пожарной опасности может оцениваться от малого u_2 до катастрофического u_5 , в зависимости от расположения конкретного исследуемого заброшенного поля. Ущерб от распространения нежелательных видов, таких как борщевик Сосновского можно оценить в зависимости от назначения объекта от незначительного u_1 до большого u_4 . Вероятность возникновения ущерба также можно оценить для пожарной опасности от маловероятно p_2 до неизбежно p_5 , для распространения нежелательных видов с соседней территории можно оценить, от вероятного p_3 , до возможного p_4 . С использованием ГИС технологии для определения градации территорий в зависимости от вероятности низового пожара или распространения нежелательных видов.

Таким образом, опираясь на данную методику можно оценить категорию риска пожарной опасности от малой (мероприятия не обязательны, но за ситуацией надо следить, чтобы риск был управляемым) до катастрофической (обязательные мероприятия по ликвидации риска), в зависимости от расположения объекта, а риск распространения нежелательных видов от незначительного (мероприятия не требуются), до высокого (обязательные срочные мероприятия по снижению риска).

приятия не требуются), до высокого (обязательные срочные мероприятия по снижению риска).

Разнородность самих рисков требует разных подходов к оценке рисков. Риски, связанные с повышением пожарной опасности, требуют оценки вероятности рисков лесных пожаров [37, 38], а также оценки рисков для соседствующих населенных пунктов [39].

При оценке рисков распространения нежелательной растительности можно использовать методы анализа фитосанитарного риска и оценки потенциального экономического ущерба окружающей среде [40, 41]. Необходимо учитывать как прямой ущерб: негативные изменения в окружающей среде в результате интродукции инвазивных организмов, в качестве и количестве природных ресурсов, а также последствия таких изменений, так и косвенный (затраты на борьбу с нежелательной растительностью), а также воздействие на экосистему, на здоровье человека и животных (аллергии и ядовитые растения).

Оценка рисков изменения почвенного профиля и мелиоративной системы возможно применить методику безразмерных индикаторов (показателей) состояния мелиоративного состояния почвы агроландшафта разработанную Хаджиди А.Е., Сафроновой Т.И. и др. [42].

Оценка рисков загрязнения остаточными пестицидами, химическими удобрениями и ветеринарными препаратами может осуществляться через методы экологической оценки степени воздействия сельскохозяйственного производства на интенсивность загрязнения окружающей среды на основе их токсикологической опасности способности к миграции и биodeградации [43, 44].

Таким образом, современные методы оценки рисков позволяют определить риски, связанные с постагрогенной сукцессией на заброшенных сельскохозяйственных землях относительно разных хозяйствующих субъектов, и разработать методы снижения рисков для каждой категории.

Используя в комплексе методики для оценки рисков пожарной опасности, распространения нежелательной растительности, изменения почвенного профиля и токсикологической опасности загрязнения поллютантами можно определить общий характер рисков для рассматриваемой территории.

Оценка частного характера экологических рисков для конкретных целей должна основываться на определении наиболее важных факторов для данного направления хозяйства и расчета риска по данному направлению. Отметим также, что для отдельных отраслей некоторые факторы являются не источником риска, а положительным аспектом.

Выводы

Общие экологические риски при распространении заброшенных сельскохозяйственных земель связаны с изменением биоразнообразия,

загрязнением и изменением структуры почвы, увеличением вероятности низовых пожаров и косвенным влиянием на соседние экосистемы.

Обзор направлений исследования экологических рисков постагрогенной трансформации сельскохозяйственных земель является разнонаправленным и требует дифференциального подхода к исследованию в зависимости от целей исследователя.

Используя современные методы оценки рисков, можно определить риски, связанные с постагрогенной сукцессией на заброшенных сельскохозяйственных землях для разных хозяйствующих субъектов и произвести планирование мероприятий основываясь на оценке вероятностей и экспертной оценке возможного ущерба.

Литература

1. Итоги Всероссийской сельскохозяйственной переписи 2016 года. Т. 3: Земельные ресурсы и их использование. — М.: ИИЦ «Статистика России», 2018. — 307 с.
2. Данилов Д. А., Януш С. Ю., Мандрыкин С. С. Постпирогенное возобновление древесной растительности на постагрогенных землях в псковско-лужском ландшафте // Актуальные проблемы лесного комплекса, 2019. № 54. — С. 15–18.
3. Харламенков А. С. Сухая трава и мусор в обновленной пожарной статистике // Пожаровзрывобезопасность, 2021. № 5. — С. 98–102.
4. Залесов С. В., Годовалов Г. А., Платонов Е. Ю. Уточненная шкала распределения участков лесного фонда по классам природной пожарной опасности // АБУ, 2013. № 10 (116). — С. 45–49.
5. Юровских Е. В. Пути повышения пожароустойчивости насаждений, формирующихся на бывших сельскохозяйственных угодьях // Аграрное образование и наука, 2016. № 1. — С. 19.
6. Соколов Ю. И. Пожарные риски России // Проблемы анализа риска, 2016. № 5. — С. 52–71.
7. Трифонова Т. А., Шоба С. А., Мищенко Н. В., Быкова Е. П., ШUTOV П. С., Савельев О. В., Репкин Р. В. Постагрогенные фитоценозы волжско-окского междуречья // Юг России: экология, развитие, 2022. № 4 (65). — С. 40–48.
8. Гудина А. Г., Тюкавина О. Н. Анализ горимости лесов Вельского района Архангельской области // Ученые записки Петрозаводского государственного университета, 2018. № 8 (177). — С. 74–77.
9. Кондратьев А. С., Самсонова И. Д. Причины возникновения и мониторинг лесных пожаров в лесах новгородской области // Актуальные проблемы лесного комплекса, 2020. № 56. — С. 36–39.
10. Телеснина В. М., Ваганов И. Е., Климович Е. Ю., Чалая Т. А. Некоторые особенности биологического круговорота в постагрогенных экосистемах южной тайги и их влияние на химические свойства и биологическую активность почв // Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение, 2013. № 2. — С. 43–51.
11. Мыслик Е. Н., Лунова Н. Н., Соколова Т. Д. Видовое разнообразие сорных растений местообитаний разного типа на территории Ленинградской области // Вестник защиты растений, 2015. № 1. — С. 54–57.
12. Нечаева Т. В. Залежные земли России: распространение, агроэкологическое состояние и перспективы использования (обзор) // Почвы и окружающая среда, 2023. № 2. — С. 1–31.
13. Палкина Т. А. Ландшафтная активность растений антропогенных экосистем на территории рязанской области // Вестник РГТУ, 2014. № 3 (23). — С. 26–31.
14. Гусев А. П. Ландшафтно-экологический анализ распространения чужеродных видов-трансформеров в природно-антропогенных ландшафтах (юго-восток Беларуси) // Российский журнал прикладной экологии, 2017. № 2 (10). — С. 47–51.
15. Сергеева А. С., Яковлев А. А., Данилов Д. А., Богданова Л. С. Влияние плодородия почвы на естественное возобновление леса на старопахотных землях // Актуальные проблемы лесного комплекса, 2019. № 54. — С. 63–67.
16. Лунова Н. Н., Ларина С. Ю. Золотарник канадский — следующий? // Защита и карантин растений, 2015. № 1. — С. 17–18.
17. Zhang X. R., Li X. D., Chen Y., Zhang C. L., Wang J., Song X. J., Song Y. H., Liu G. 加拿大一枝黄花入侵中国过程中的气候生态位变化 [Changes of climate niche of *Solidago canadensis* during its invasion in China] // Ying Yong Sheng, Tai Xue Bao, 2024 Oct. 35(10). — Pp. 2707–2714. DOI: 10.13287/j.1001-9332.202410.001.
18. Красновилов А. Н., Жигунов А. В., Данилов Д. А., Рябинин Б. Н., Шестакова Т. А. Влияние травянистого покрова на развитие лесных насаждений, созданных на залежных землях // Известия ОГАУ, 2014. № 6 (50). — С. 55–57.
19. Палкина Т. А. Аспекты мониторинга и оптимизации фитокомпонента антропогенных экосистем Рязанской области // Вестник РГТУ, 2017. № 2 (34). — С. 35–40.
20. Lyytinen A., Lindström L. Responses of a native plant species from invaded and uninvaded areas to allelopathic effects of an invader // Ecol. Evol., 2019 May 3. 9(10). — Pp. 6116–6123. DOI: 10.1002/ece3.5195.
21. Грязкин А. В., Парамонов С. Г., Смирнов А. П., Семенова Е. И., Шмелёв Г. Б. Изменение состава фитоценозов на заброшенных сельскохозяйственных землях за 18-летний период // Аграрный научный журнал, 2024. № 8. — С. 16–22. DOI: 10.28983/asj.y2024i8pp16–22.
22. Тобратов С. А., Железнова О. С., Водорезов А. В. Заращение заброшенных земель как фактор геохимической устойчивости ландшафтов к антропогенному поступлению ртути // Вестник Рязанского государственного университета им. С. А. Есенина, 2018. № 2(59). — С. 97–124.
23. Парамонов С. Г. Аспекты загрязнения лекарственных растений пестицидами // Формулы фармазии, 2021. Т. 3. № 2. — С. 78–81. DOI: 10.17816/phf71365.
24. Воронин Б. А., Донник И. М., Круглов В. В., Воронина Я. В. Организационно-правовые и экономические механизмы рационального использования природных ресурсов и охраны окружающей среды в сельском хозяйстве // АБУ, 2017. № 8 (162). — С. 10–17.
25. Guo Y., Wang J. Spatiotemporal Changes of Chemical Fertilizer Application and Its Environmental Risks in China from 2000 to 2019 // Int J. Environ. Res. Public Health, 2021 Nov 12. 18(22) — P. 11911. DOI: 10.3390/ijerph182211911.

26. Акименко Ю.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И., Мазанко М.С. Экологические последствия загрязнения почв антибиотиками // Известия Самарского НЦ РАН, 2013. № 3–4. — С. 1196–1199.
27. Hong B., Li Q., Li J., Zhou M., Wang X., He B., Yu S. Spectrum of pharmaceutical residues in commercial manure-based organic fertilizers from multi-provinces of China mainland in relation to animal farming and possible environmental risks of fertilization // Sci. Total Environ., 2023 Oct. 10;894 — Pp. 165029. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.165029.
28. Парамонов С.Г., Зеликова Д.Д., Склярова Л.В., Алхутова И.М. Экологические риски при микрозагрязнениях тетрациклином окружающей среды // Формулы фармации, 2022. Т. 4. № 1. — С. 76–88. DOI: 10.17816/phf106547.
29. Парамонов С.Г. Анализ факторов внешней среды как источников экологических рисков контаминации спорами *Clostridium botulinum* меда // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки, 2023. № 10. — С. 17–21. DOI: 10.37882/2223–2982.2023.10.27.
30. Парамонов С.Г., Грязькин А.В., Смирнов А.П., Семёнова Е.И., Кашафеев И.Р. К вопросу об изменении верхних горизонтов почвы в ходе постагрогенной сукцессии в условиях Псковской области // Вестник Бурятской ГСХА им. В.Р. Филиппова, 2025. № 1(78). — С. 105–112. DOI: 10.34655/bgsha.2025.78.1.013.
31. Гиниятуллин К.Г., Шинкарев А.А., Фазылова А.Г., Кузьмина К.И., Шинкарев А.А. Пространственная неоднородность вторичной аккумуляции гумуса в старопахотных горизонтах залежных светло-серых лесных почв // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки, 2012. № 4. — С. 61–70.
32. Елькина Г.Я., Лаптева Е.М., Лиханова И.А., Холопов Ю.В. Трансформация органического вещества в постагрогенных почвах средней тайги // Биология растений и садоводство: теория, инновации, 2019. № 152. — С. 100–107.
33. Леднев А.В., Дмитриев А.В., Пегова Н.А., Попов Д.А. Влияние степени исходного окультуривания на агрохимические показатели залежных дерново-подзолистых почв // Российская сельскохозяйственная наука, 2018. № 6. — С. 36–38. DOI 10.31857/S250026270001829–6.
34. Парамонов С.Г. Экологические риски для пчеловодства в результате постагрогенного восстановления таежных экосистем // International Agricultural J., 2024. Т. 67. № 3. DOI: 10.55186/25876740_2024_8_3_4.
35. Парамонов С.Г. Постагрогенная трансформация экосистем, как фактор увеличения популяции охотничьих животных // Актуальные вопросы современных научных исследований: сб. ст. XV Междун. конф.: в 2 ч. (Пенза, 08 января 2025 г.). — Пенза: Наука и просвещение. 2025. — С. 37–39.
36. Куракина Н.И., Ивлиев И.А. Методы оценки экологических рисков на основе разнородных данных // Известия СПбГЭТУ ЛЭТИ, 2015. № 2. — С. 46–51.
37. Манмарева В.В. Методика оценки лесопожарных рисков их возможных последствий // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика, 2023. Т. 11. № 4(63). — С. 21–31. DOI: 10.34220/2308–8877-2023–11-4–21-31.
38. Шишалова В.О., Климова И.В. Оценка риска возникновения лесных пожаров в Ленинградской области // Неделя науки ИСИ : Сб. мат. Всеросс. конф. (Санкт-Петербург, 3–9 апреля 2023 г.). Ч. 3. — СПб: СПбПУ Петра Великого, 2023. — С. 94–97.
39. Барановский Н.В. Детерминировано-вероятностный прогноз безопасности населенного пункта при лесных пожарах // Инженерная физика, 2009. № 8. — С. 50–53.
40. Кармазин С. А. Практика анализа фитосанитарного риска и оценки потенциального экономического ущерба окружающей среде в РФ // Защита и карантин растений, 2013. № 10. — С. 31–33.
41. Лытов М.Н. Система экологических и инженерно-инфраструктурных оценок выведенных из оборота мелиорированных земель // Мелиорация и гидротехника, 2022. № 3. — С. 56–75.
42. Хаджиди А.Е., Сафронова Т.И., Степанов В.И. Моделирование рисков ситуаций при оценке мелиоративного состояния агроландшафта // Успехи современного естествознания, 2015. № 1–7. — С. 1150–1154.
43. Gao Y.Y., Zhao W., Huang Y.Q., Kumar V., Zhang X., Hao G.F. In silico environmental risk assessment improves efficiency for pesticide safety management // Sci. Total Environ., 2024 Jan 15.908. — P. 167878. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.167878.
44. Tsaboula A., Papadakis E.N., Vryzas Z., Kotooulou A., Kintzikoglou K., Papadopoulou-Mourkidou E. Environmental and human risk hierarchy of pesticides A prioritization method, based on monitoring, hazard assessment and environmental fate // Environ Int., 2016 May. 91. — Pp. 78–93. DOI: 10.1016/j.envint.2016.02.008.

Сведения об авторе:

Парамонов Сергей Геннадьевич, к.б.н., доцент, доцент кафедры промышленной экологии Санкт-Петербургский государственный химико-фармацевтический университет Минздрава России (СПХФУ), чл.-корр. Российской экологической академии; e-mail: sergei.paramonov@pharminnotech.com.

Агроэкономика

EDN WXVWBW

УДК 631.42

Деградация земель и социально-экономическая устойчивость территорий

Е.В. Цветнов^{1,2}, к.б.н., О.А. Макаров^{1,2,3}, д.б.н., Д.Р. Абдулханова¹, Н.А. Марахова^{1,2}, Я.Р. Ермияев¹

¹Факультет почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова,

²Евразийский центр по продовольственной безопасности (Аграрный центр МГУ)

³Учебно-опытный почвенно-экологический центр МГУ

Показано, что деградация земель может влиять на различные аспекты устойчивого развития сельских территорий, в первую очередь, — на социальные и экономические. При анализе взаимосвязи между демографической ситуацией и проблемами деградации земель основное внимание следует уделять показателю абсолютной численности населения. Среди показателей экономического блока, на которые влияет деградация земель, необходимо выделить базовый показатель экономического роста — валовой региональный продукт на душу населения. Были рассмотрены и обсуждены четыре возможных состояния социально-экономического блока оценки деградации земель, анализ которых позволяет сделать вывод о том, что, если социальные и экономические проблемы не будут решены, ответственная сторона не будет инвестировать в подавляющее большинство экологических проектов.

Ключевые слова: деградация земель, устойчивое развитие территорий, социальный блок, экономический блок.

Состояние вопроса

Различные подходы к эколого-экономической оценке земель (оценка величины ущерба/вреда от деградации, определение индекса нейтрального баланса деградации, измерение соотношения стоимости «бездействия» к стоимости «действия») выявляют необходимость более пристального изучения социально-экономических условий тех или иных территорий. В значительной степени, указанное понимание необходимости усиления учета социально-экономических факторов при оценке деградации земель вытекает из признания того факта, что понятие «земля» существенно шире понятия «почва», а, соответственно, — «деградация земель» является более емким понятием, чем «деградация почв».

Очевидно, что при оценке деградации земель в Российской Федерации необходимо учитывать состояние не только природных (почв, растительности и т.д.), но и экономических, и социальных компонентов. Целями подобного сопряженного анализа являются:

1. Выявление ведущих факторов деградации земель, а также оценка баланса между социально-экономической и экологической компонентами анализа.

2. Оценка состояния и ожиданий населения, проживающего на данной территории, а также выявление общего потенциала для его развития с учетом экологических факторов (в том числе фактора деградации земель). Решение указанной проблемы вплотную примыкает к оценке устойчивого развития (включая демографическую ситуацию) территориальных образований. В тоже время необходимо отметить, что уже разработан целый ряд специализированных методик, способных раскрыть данную цель относительно полно [1]. Основными причинами отказа от самостоятельного рассмотрения этих методик являются — количество представленных в них показателей избыточно для анализа «общих тенденций»; значения указанных в методиках агрегированных показателей не всегда возможно рассчитать для конкретного территориального уровня (муниципального, регионального, уровня федерального округа и страны в целом); поиск необходимых данных из доступных статистических баз крайне затруднителен.

3. Обоснование необходимости реализации работ по восстановлению деградированных территорий в рамках полученных величин ущерба.

Следует более подробно становиться на достижение последней из указанных целей сопряженного анализа территории. Очевидно, что после определения величины ущерба от деградации проводится разработка программы по восстановлению деградированной территории. Важным элементом разработки указанной программы является определение экономической целесообразности (рентабельности) проведения рекультивационных работ. В частности, для этой цели можно использовать методику Й. фон Брауна [2, 3]. Однако применение этой методики показало, что если в анализ не включается широкий спектр экосистемных услуг, то проведение рекультивационных мероприятий зачастую оказывается нерентабельным. Памятуя о том, что по своей экономической природе экосистемные услуги являются общественными благами, «лишенными» собственных рынков, в современных реалиях полученного обоснования будет недостаточно, чтобы ответственная сторона приняла решение в пользу восстановления нарушенных территорий. Отсюда вытекает необходимость дополнительного социально-экономического обоснования, зафиксированного в третьей цели.

Следует подчеркнуть, что весь нижеследующий анализ различных компонентов деградации земель проводится только для земель сельскохозяйственного назначения, в том числе, — с позиции их устойчивого развития.

Как известно, в 1996 г. на сессии ФАО в Риме были впервые сформулированы и приняты основные положения устойчивого развития сельского хозяйства и сельских территорий (SARD — Sustainable Agricultural Rural Development). Так, основной задачей устойчивого сельского хозяйства и сельского развития является повышение уровня производства продуктов питания устойчивым способом и обеспечение продовольственной безопасности [4].

Вскоре была принята «Коркская декларация» (Ирландия, 1996), провозгласившая о том, что устойчивое сельское развитие должно быть поставлено во главу Повестки дня Евросоюза и стать основополагающим принципом, поддерживающим всю сельскую политику на ближне- и среднесрочную перспективы.

В указанной декларации была определена и цель подобного развития — переориентация («в обратную сторону») сельской миграции, борьба с бедностью и расширение занятости сельского населения, улучшение качества его жизни, включая вопросы безопасности и здоровья. Было отмечено, что достижение такой цели невозможно без справедливого баланса бюджетных затрат, капиталовложений в инфраструктуру и образование, в здравоохранение и обслуживание коммуникаций между городскими и сельскими территориями [4].

Всероссийским институтом аграрных проблем и информатики им. А.А. Никонова с участием

ученых РГАУ — МСХА им. К.А. Тимирязева была подготовлена «Концепция устойчивого развития сельских территорий Российской Федерации», в которой дано следующее определение устойчивого развития сельских территорий: стабильное развитие сельского сообщества, обеспечивающего выполнение им его народнохозяйственных функций (производство продовольствия, сельскохозяйственного сырья, других несельскохозяйственных товаров и услуг), общественных благ, предоставление рекреационных услуг, сохранение сельского образа жизни и сельской культуры, социальный контроль над территорией, сохранение исторически освоенных ландшафтов, а также — расширенное воспроизводство населения (с улучшением качества его жизни) и поддержание экологического равновесия в биосфере [4].

Деградация земель может влиять на различные стороны устойчивого развития сельских территорий — прежде всего, социальную (например, демографическая ситуация) и экономическую (уровень жизни людей и др.)

Настоящая статья посвящена изучению проблемы влияния деградации на социально-экономические аспекты развития сельских территорий.

Анализ социального блока деградации земель

Для анализа социального блока следует воспользоваться базовыми инструментами оценки демографической ситуации. Как известно, демографической ситуацией является комплексная количественная характеристика и качественная оценка демографических процессов (рождаемости, смертности, брачности, разводимости и т.д.), протекающих на определенной территории: их тенденций, итогов к определенному периоду и последствий. При этом характеристика демографической ситуации включает три группы элементов — статическую оценку численности, сложившейся возрастно-половой структуры населения и параметров его воспроизводства; анализ динамики демографических процессов, формирующих численность и структуры населения; прогноз тенденций и оценку их демографических последствий [5]. Существует достаточно большое количество различных показателей, связанных с этими группами элементов. При анализе взаимосвязи демографической ситуации и проблем деградации земли основное внимание следует уделить показателю *абсолютной численности населения*.

Абсолютная численность населения — это самый первый показатель, с которого обычно начинается анализ населения той или иной территории и его изменений [6]. Он характеризует общую величину населения, количество людей, проживающих на данной территории в данный момент времени. Абсолютная численность населения является моментным, то есть относящимся к точному моменту времени, показателем. На основе данных

по абсолютной численности можно получить показатель *ежегодного прироста численности населения* (вычисляется в процентах прироста/убыли населения в текущем году относительно предыдущего года).

Влияние увеличения численности населения, проживающих на определенной территории, на потенциальное принятие решения об инвестировании средств в восстановление деградированных земель этой территории, проявляется следующим образом:

— независимо от того, существует ли в текущей ситуации рынок экосистемных услуг или нет, эффект, оказываемый положительным влиянием окружающей среды, становится ощутимей с ростом численности населения;

— если фактическая востребованность экосистемных услуг растет, то, как следствие, растет и потенциальная стоимость последних;

— одновременно с ростом востребованности и потенциальной стоимости экосистемных услуг возрастает и потенциальный ущерб от недополученных экосистемных услуг;

— в случае наличия компенсационного механизма для экосистемных услуг с ростом численности населения поступления в бюджет для реализации программ восстановления нарушенных и деградированных территорий также растут;

— следовательно, вероятность реализации программ восстановления земель в случае наличия положительной динамики численности населения становится выше;

— при падении численности населения возрастает необходимость проведения анализа демографической ситуации (для выявления причины этого падения и принятия решения об инвестировании средств на исправление отрицательной динамики).

Следует выделить и такие дополнительные, конкретизирующие, показатели демографической ситуации как структура населения как *структура населения, удельный вес населения в возрасте 65 лет и старше*.

Под *структурой населения* в общем случае понимается его распределение в соответствии со значениями какого-либо признака. В качестве основания для построения структуры может быть использована любая характеристика, которая представляет интерес для исследователя [6].

Удельный вес населения в возрасте 65 лет и старше (по критериям ООН) во всем населении применяется для оценки демографической старости населения [7]. В случае отсутствия данного показателя в статистических материалах для анализа можно рекомендовать использовать *удельный вес людей старше трудоспособного возраста*. С ростом данного показателя (*удельного веса населения в возрасте 65 лет и старше*) значимость экосистемных услуг не снижается, а соци-

альный дисбаланс увеличивается: падают общие поступления в бюджет, что опять же сигнализирует о необходимости проведения самостоятельного демографического исследования и приложения усилий к изменению социальной стороны проблемы.

Анализ экономического блока деградации земель

В экономическом блоке целесообразно рассмотреть базовый показатель экономического роста — *валовой региональный продукт (ВРП) в расчете на душу населения*. Этот показатель удобен во многих отношениях: он характеризует общую динамику развития экономики региона, доступен в статсборниках и потенциально связан с деградацией окружающей среды. Так, существует гипотеза о существовании так называемой экологической кривой Кузнецца, связывающей между собой показатели деградации окружающей среды и рост экономики. Кривая имеет вид купола и показывает, что с ростом экономики отрицательные воздействия на окружающую среду сначала растут, а затем, достигнув определенной пороговой величины, начинают падать. То есть, в какой-то момент времени благополучие окружающей среды начинает выступать самостоятельным благом, в которое начинают вкладываться. Р. Перман, Ю. Ма, Дж. Макгилври и др. [8] отмечают, что кривая Кузнецца не универсальна, однако во многих случаях данная взаимосвязь прослеживается.

Применительно к анализируемому процессу (принятию решения о целесообразности проведения рекультивационных работ на деградированных землях с учетом социально-экономических факторов) следует отметить, что спад экономики, фиксирующийся в снижении показателя ВРП на душу населения, сигнализирует о том, что важность собственно социально-экономических вопросов начинает выходить на передний план, а экологических (наличие деградации земель) — отступать. Совмещенный качественный социально-экономический анализ может быть формализован с помощью *табл.*

Таблица

Матрица сопряжения базовых
социально-экономических показателей

(1) «Экономика растет, население растет»	(2) «Экономика падает, население растет»
(3) «Экономика растет, население падает»	(4) «Экономика падает, население падает»

В табл. отражены четыре возможных состояния социально-экономического блока оценки деградации земель, которые возможно зафиксировать с помощью предлагаемых показателей:

1) состояние (1), когда «Экономика растет, население растет», свидетельствует о том, что вложения в окружающую среду при наличии экономического подтверждения (анализ на основе

подхода «оценки действия / бездействия») — целесообразны;

2) состояние (4), когда «Экономика падает, население падает», означает, что вложения в окружающую среду нецелесообразны даже в том случае, если «действие» предпочтительнее «бездействия» (в анализ включается широкий спектр экосистемных услуг, который не может быть напрямую интегрирован в анализ фактической рыночной информации);

3) состояния (2) и (3) занимают промежуточное положение: здесь требуется проведение дополнительного специализированно социально-экономического исследования, однако с большой долей вероятности можно предположить, что оба этих состояния тождественны состоянию (4), когда вложения нецелесообразны.

Таким образом, анализ табл. позволяет сделать заключение о том, что, если не решены социальные и экономические проблемы, ответственная сторона не будет инвестировать подавляющее большинство экологических проектов: при прочих равных условиях социально-экономический блок оценки деградации земель доминирует над экологическим (природным) блоком. Из данной ситуации есть, по меньшей мере, два исключения:

1) факторы деградации окружающей среды очевидно доминируют над социально-экономи-

ческими факторами (например, значительное загрязнение техногенными радионуклидами);

2) стороной, принимающей решение в пользу восстановления нарушенных земель, является *не государство*. По умолчанию в настоящих исследованиях делается допущение, что основным ответственным агентом является государство, способное аккумулировать значительные средства и финансировать общественные блага. Однако, в случае наличия социального и экономического дисбаланса, экологические проблемы для государства отходят на второй план. Одним из возможных вариантов выхода из данной ситуации может быть создание независимого органа, ответственного за экологическую составляющую, как вариант, посредством возрождения системы экологических фондов с вхождением туда частного капитала и неполным подчинением государству [9, 10].

Итоговый алгоритм эколого-экономической оценки деградации земель, учитывающий необходимость проведения социально-экономической верификации целесообразности осуществления работ по восстановлению деградированных территорий, представлен на *рис.*

Заключение

Таким образом, деградация земель может влиять на различные стороны устойчивого развития

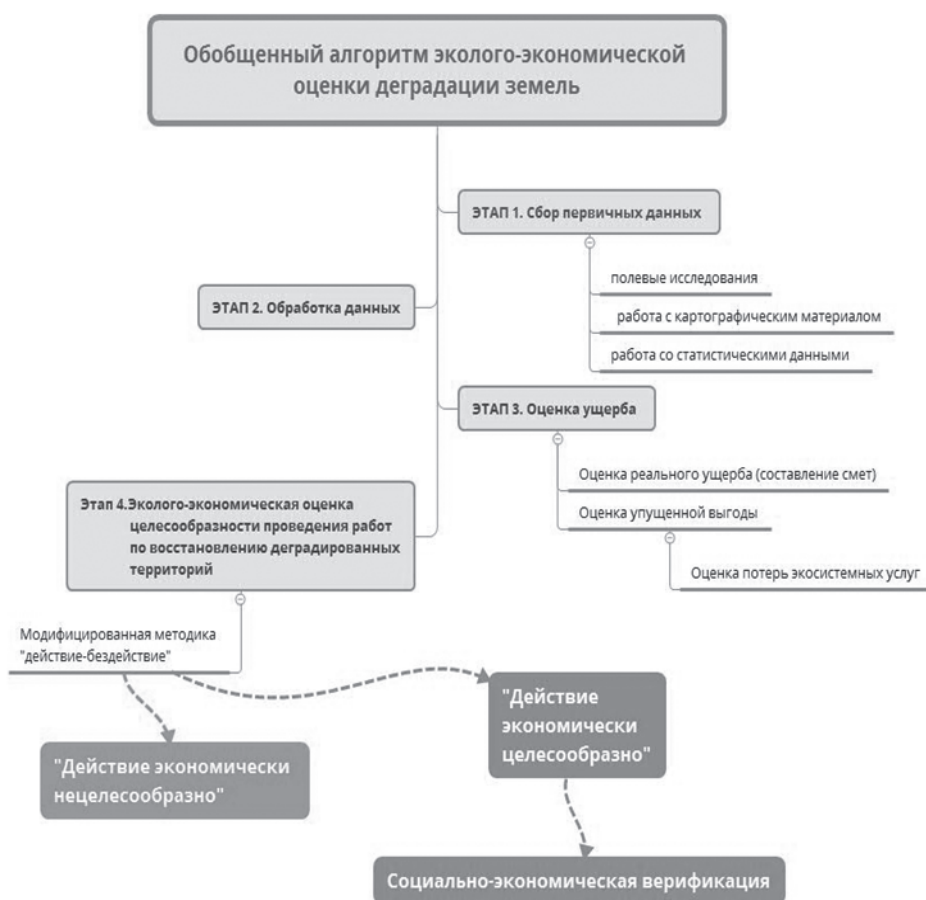


Рис. Обобщенный алгоритм эколого-экономической оценки деградации земель

сельских территорий, прежде всего, на социальную и экономическую. При анализе взаимосвязи демографической ситуации и проблем деградации земли основное внимание следует уделить показателю абсолютной численности населения. Из показателей экономического блока, на которые влияет деградация земель, прежде всего, надо выделить базовый показатель экономического роста — валовой региональный продукт (ВРП) в расчете на душу населения. Рассмотрены и обсуждены четыре возможных состояния социально-экономического блока оценки деградации земель, анализ которых позволяет сделать заключение о том, что,

если не решены социальные и экономические проблемы, ответственная сторона не будет инвестировать подавляющее большинство экологических проектов (при прочих равных условиях социально-экономический блок оценки деградации земель доминирует над экологическим блоком).

Благодарность. Исследование выполнено в рамках госзадания Минобрнауки России (тема № АААА-А21—121012290189-8 «Научно-практические основы и информационное обеспечение устойчивого управления почвенно-земельными ресурсами европейской части РФ»).

Литература

1. Бобылев С.Н., Зубаревич Н.В., Соловьева С.В. Вызовы кризиса: как измерять устойчивость развития? // Вопросы экономики, 2015. № 1. — С. 147–160.
2. von Braun J., Gerber N. The economics of land and soil degradation — toward an assessment of the costs of inaction // Recarbonization of the Biosphere. — Netherlands: Springer, 2012. — Pp. 493–516.
3. Бондаренко Е.В. Опыт учета экосистемных сервисов почв при оценке деградации земель (на примере УО ПЭЦ МГУ): дис. к.б.н.: 03.02.13 — Почвоведение и 03.02.08 — Экология. — М.: МГУ, 2016. — 120 с.
4. Механизмы устойчивого сельского развития: метод пособие. Ч. 1. Обеспечение занятости и повышение доходов сельского населения / А.В. Петриков, В.Я. Узун и др. — М.: «АГРО», 2003. — 329 с.
5. Практическая демография: уч. пос. для вузов / Под ред. Л.Л. Рыбаковского. — М.: ЦСП, 2005. — 280 с.
6. Медков В.М. Демография: уч. пособие. — Ростов-на-Дону: «Феникс», 2002. — 448 с.
7. Антонов А.И., Борисов В.А. Лекции по демографии: уч. для вузов. — М.: Академический проект; Альма Матер, 2011. — 592 с.
8. Перман Р., Ма Ю., Ю., Макгиллври Д., Джемс, Коммон М. Экономика природных ресурсов и охраны окружающей среды: (промежуточный уровень): уч. для вузов по направлению 08.01.00 «Экономика». 3-е изд. — М.: ТЕИС, 2006. — 1166 с.
9. Цветнов Е.В., Махмудова А.Р., Цветнова К.А. Экологические фонды и почвенно-экологическое страхование в системе рационального землепользования // Проблемы региональной экологии, 2013. № 3. — С. 194–201.
10. Makarov O.A., Tsvetnov E.V., Shcheglov A.I. et al. Cadastral valuation of lands polluted with radionuclides // Eurasian Soil Science, 2016. V. 49. № 11. — Pp. 1288–1293.

Сведения об авторах:

Цветнов Евгений Владимирович, к.б.н., в.н.с. кафедры радиоэкологии и экотоксикологии факультета почвоведения МГУ, с.н.с. Евразийского центра по продовольственной безопасности (Аграрный центр) МГУ; e-mail: tsvetnov@ecfs.msu.ru.

Макаров Олег Анатольевич, д.б.н., завкафедрой эрозии и охраны почв факультета почвоведения МГУ, зав. лабораторией почвенно-экологического мониторинга УО ПЭЦ МГУ, в.н.с. Аграрного центра МГУ; e-mail: oa_makarov@mail.ru.

Абдулханова Дина Рафиковна, м.н.с. кафедры эрозии и охраны почв факультета почвоведения МГУ; e-mail: dina_msu@mail.ru.

Марахова Нина Алексеевна, инженер 1-й кат. лаборатории экотоксикологического анализа почв факультета почвоведения МГУ, инженер Аграрного центра МГУ; e-mail: zenafelekca@gmail.com.

Ермияев Яков Русланович, магистр факультета почвоведения МГУ; e-mail: yacov93@yandex.ru.

Юбилеи

EDN YMQLLL

УДК 631

К 125-летию первого заведующего кафедрой общего земледелия МГУ

П.Н. Балабко¹, д.б.н., Н.Г. Рыбальский², д.б.н., Т.И. Хуснетдинова¹, к.б.н., Н.П. Матекина^{1,2}

¹Факультет почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова

²Евразийский центр по продовольственной безопасности МГУ

Статья посвящена 125-летию со дня рождения ученого в области аграрных наук и талантливому педагогу, первому заведующему кафедрой общего почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова, доктору сельскохозяйственных наук, профессору — Василию Тимофеевичу Макарову (28.07.1900–23.01.1978). В статье рассматриваются важнейшие периоды его жизненного и творческого пути.

Ключевые слова: кафедра общего земледелия, плодородие, окультуривание, увеличение урожайности, севооборот.

28 июля 2025 г. исполняется 125 лет со дня рождения Василия Тимофеевича Макарова — ученого в области земледелия, талантливого педагога, доктора сельскохозяйственных наук, профессора, заведующего кафедрой общего земледелия МГУ имени М.В. Ломоносова (1955–1976), научного руководителя опытного дела на Агробиологической станции «Чашниково».

Василий Тимофеевич родился 28 июля 1900 г. в д. Тамбы (по другим сведениям, в с. Крюковка), Симбирского уезда (ныне Майнский район Ульяновской области). Родители — крестьяне-середняки, в семье было 7 детей. Василий был самый старший. Он окончил церковноприходскую школу, затем Казанскую учительскую гимназию и стал работать учителем.

В 1920 г. добровольно пошел служить в Красную Армию, был политруком. После армии был заведующим школы и преподавателем в Казани. В это же время, без отрыва от производства учился на агрономическом факультете Казанского института сельского хозяйства и лесоводства, после окончания которого поступил в заочную аспирантуру. 28 ноября 1935 г. утвержден в ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук без защиты диссертации. В этом же году был утвержден ВАК в ученом звании доцента. С сентября и в последующие годы работал доцентом, заведующим кафедрой агрохимии, а с 1938 г. по



1941 г. — проректор Казанского государственного университета.

В сентябре 1941 г. В.Т. Макаров опять добровольно ушел в армию, был военным комиссаром, начальником политотдела 4-ой ударной армии. Прошел боевой путь от Москвы до Кёнигсберга. В 1942 г. был контужен [1]. После выздоровления с июня 1942 г. по май 1945 г. был на фронте и прошел путь от военного комиссара, заместителя по политчасти 4-ой ударной армии до начальника политотдела тыла 4-ой ударной армии. Будучи на фронте с первого года Великой Отечественной войны и до её конца, участвовал во многих

боевых операциях и в боях. За боевые заслуги в Великой Отечественной войне Василий Тимофеевич был награжден тремя орденами: «Красной звезды» — 1942 г., «Отечественной войны 1 степени» — 1944 г., «Красного Знамени» — 1945 г. и медалями: «За оборону Москвы» — 1944 г., «За победу над Германией» — 1945 год. С фронта В.Т. Макаров вернулся в звании подполковника. В послевоенное время был награжден орденом «Знак почета» — 1953 г. и медалью «За трудовое отличие» — 1967 год [1].



После демобилизации в июле 1946 г. вновь вернулся в Казанский государственный университет. В июне 1948 г. защитил докторскую диссертацию на тему: «Известкование серых лесных почв Татарии».

В 1947–1948 гг. был откомандирован в Албанию, где под его руководством был открыт Тиранский университет.

С 1948 по апрель 1954 г. — ректор Томского государственного университета имени В.В. Куйбышева, заведующий кафедрами агрохимии (с 1948 г.), агрономии (с 1949 г.).

В период работы в Томском госуниверситете В.Т. Макаров осуществлял исследования, направленные на повышение плодородия почвы и увеличение урожайности сельскохозяйственных культур. В конце 40-х — начале 50-х гг. под его руководством работала комплексная экспедиция в составе 50 человек, которая охватила своими исследованиями Томский, Асиновский, Кожевниковский, Шегарский, Бакcharский и Колпашевский районы Томской области. Изучались почвы, растительность и животный мир. Непосредственно в колхозах велись работы по освоению травопольной системы земледелия [2].

По инициативе Василия Тимофеевича был рекомендован ряд передовых агротехнических приемов, способствовавших повышению урожая трав на сено и семена, а также рекомендовано

возделывание многолетних трав в полевом севообороте для повышения плодородия почвы. Большое внимание сотрудники кафедры агрономии ТГУ уделяли выявлению роли удобрений и повышению плодородия почв нечерноземной полосы Западной Сибири. В частности, выяснялись особенности поведения клевера и тимopheевки в условиях таежной зоны Западной Сибири. В результате исследований и экспериментов была установлена биологическая особенность озимого красного клевера в отношении прохождения стадии яровизации в летнее время. Это заключение позволило научно обосновать возможность и целесообразность проведения двух укосов многолетних трав озимого красного клевера и тимopheевки в одно лето. Установленный агротехнический прием способствовал значительному повышению урожайности надземной и подземной частей растительной массы. Двухкратное формирование многолетних трав в одно лето с использованием различных удобрений позволило получать с одной и той же площади значительно больше высококачественного корма для скота и органического вещества для повышения плодородия почвы. Были разработаны также способы повышения урожая семян красного клевера путем подкашивания семенников и вывоза пчел на поля. Под руководством В.Т. Макарова ассистент кафедры З.Д. Кузнецова занималась установлением активной роли трав в улучшении образования прочной мелкокомковатой структуры почвы. Было установлено, что травы повышают активность бактериального процесса в почве (клубеньковые нитратные бактерии), ведут к увеличению органического вещества в почве, улучшают пищевой и водный режим. Эти выводы имели важное значение для выработки агротехнических приемов, применения многолетних трав в севооборотах таежной зоны Западной Сибири (удобрение покровной культуры, поверхностное удобрение трав, известкование, проведение двух укосов за лето и др.). Результаты исследований широко освещались на проводимых университетом научных конференциях, в печати и внедрялись на практике в хозяйствах Томского, Асиновского и др. районов области. Кафедра агрономии ТГУ занималась также анализом агротехники озимой ржи на сортоучастках области, что позволило В.Т. Макарову выработать и предложить меры, в том числе весеннее прикатывание, предохраняющие рожь от гибели. Им была предложена новая система обработки дерново-подзолистых почв в плодосменных севооборотах, а также разработаны теоретические основы интенсивной системы земледелия, комплексный метод повышения плодородия дерново-подзолистых почв [2].

В 1954 году Василий Тимофеевич был приглашен заведовать кафедрой агрономии Московского государственного университета имени М.В. Ло-

моносова (с 1955 года кафедра стала называться кафедрой общего земледелия).

Работая в Московском университете, Василий Тимофеевич Макаров читал курс «Общее земледелие» студентам отделения почвоведения биолого-почвенного факультета, а также спецкурсы, участвовал в проведении учебных практик, руководил дипломными и аспирантскими работами. В соавторстве с проф. Н.П. Ремизовым написал учебник «Почвоведение с основами земледелия» для университетов, выдержавший два издания (1963, 1966).

Под руководством проф. В.Т. Макарова преподаватели, научные сотрудники, аспиранты и студенты кафедры общего земледелия проводили исследования в составе комплексных экспедиций на стационарах биолого-почвенного факультета МГУ имени М.В. Ломоносова [3].

С 1954 по 1961 гг. им было организовано несколько научных экспедиций. В составе комплексной Окско-Мещерской экспедиции Московского государственного университета агрономический отряд кафедры общего земледелия участвовал в изучении почв и агротехники возделывания сельскохозяйственных культур в условиях Мещерской низменности и Приокской поймы. Помимо этого, сотрудниками кафедры были выполнены стационарные полевые опыты по изучению влияния способов различной обработки почв на урожай кукурузы и многолетнего люпина, опыты по возделыванию новой для Рязанской области культуры — кормовой капусты. Результатом исследований, проведенных почвенным и агрономическим отрядами, явилась изданная в 1957 г. книга проф. В.Т. Макарова «Система земледелия в Мещерской низменности». Полученные учеными оригинальные данные по анализам почв, изучению передового производственного опыта и использованию большого литературного материала Василием Тимофеевичем была разработана система земледелия, в соответствии с требованиями возделываемых в условиях Мещеры культурных растений. Весь фактический материал в книге был обобщен отдельно для трех резко отличающихся по своей природе типов почв, наиболее распространенных в Мещерской низменности: дерново-подзолистых почв легкого и тяжелого гранулометрического состава, торфяно-болотных почв и пойменных почв долины реки Оки и ее притоков.

В течении пяти лет (1957—1961) под руководством В.Т. Макарова учеными кафедры общего земледелия Г.Ф. Лебедевой и З.А. Шустровой были проведены полевые опыты по изучению влияния удобрений на урожай кормовой капусты на осушенных торфяно-болотных почвах Мещеры разных лет освоения [4]. Опыты выявили особую роль калия в получении высоких урожаев кормовой капусты на торфяно-болотных почвах. По данным исследования авторов внесение калийных удобрений приводило к резкому и стабильному

повышения урожаев кормовой капусты, тогда как внесение азотно-фосфорных удобрений не давало положительного эффекта, а в ряде случаев урожай кормовой капусты был даже ниже, чем на контроле. Полное минеральное удобрение оказывало примерно такое же действие, что и внесение одного калийного удобрения.

В 1962—1964 гг. сотрудники, аспиранты и студенты кафедры общего земледелия в составе агрономического отряда Смоленской экспедиции под руководством В.Т. Макарова и Г.Ф. Лебедевой провели полевые исследования по эффективности действия гербицидов и поведения их в почве. Полевые опыты были заложены на дерново-подзолистой суглинистой почве разной степени окультуренности с сельскохозяйственными культурами, такими как кукуруза, кормовые бобы, картофель, горох, лен. В опытах изучалось действие и последствие различных гербицидов. Опыты позволили установить наиболее эффективные препараты для каждой культуры, оптимальные дозы и сроки их применения, влияние на качество сельскохозяйственной продукции.



Почетный академик ВАСХНИЛ Терентий Семенович Мальцев на опытном поле кафедры общего земледелия (Т.С. Мальцев в центре в темной одежде, рядом справа В.Т. Макаров)

В юбилейный 1955 год Московского государственного университета кафедра общего земледелия под руководством заведующего В.Т. Макарова совместно с кафедрой почвоведения провела всесторонние исследования различных почв на родине основателя МГУ М.В. Ломоносова, в Холмогорском районе Архангельской области для целей их рационального использования. В состав рабочей группы входили и местные школьники. Одним из заинтересовавшихся почвоведением и агрономией был 17 летний юноша из Холмогор Юрий Спиридонов. Студенты МГУ убедили поступать его на биолого-почвенный факультет МГУ. Конечно, поступить из сельской школы по конкурсу было трудно, не хватило баллов. Василий Тимофеевич пошел к ректору МГУ и доказал необходимость принять в юбилейный год абитуриента с родины М.В. Ломоносова. Ректор Иван Георгиевич Петровский дал указание приемной комиссии зачислить Юрия Спиридонова

студентом 1-го курса биолого-почвенного факультета МГУ. Студент отлично учился, поступил в аспирантуру, досрочно защитил кандидатскую диссертацию под руководством В.Т. Макарова. Увлечение Юрия Яковлевича Спиридонова гербицидной тематикой привело его во ВНИИ фитопатологии, где он в 1987 г. защитил докторскую диссертацию, в 1988 г. был избран профессором, а в 2007 г. академиком РАСХН, с 2013 г. — академик РАН.

Основной базой для исследований, проводимых под руководством В.Т. Макарова, его детищем, был многолетний (более 20 лет) полевой опыт по повышению плодородия дерново-подзолистых почвах на полях Агробиологической станции (АБС) МГУ «Чашниково», где и трудились основные силы сотрудников кафедры, аспиранты и студенты. На основе этих исследований был предложен новый комплексный метод преобразования дерново-подзолистых почв, главными элементами которого было введение четырехпольного севооборота с пятым выводным полем и сочетание глубокого безотвального рыхления с отвальной вспашкой. Результаты демонстрировались на ВДНХ и были зарегистрированы в Госкомитете по делам изобретений и открытий. По результатам исследований под руководством В.Т. Макарова были выполнены и защищены кандидатские диссертации Г.М. Милославской, В.Ю. Бондаревой, Е.В. Витте, Н.И. Демушкиным, Ю.Я. Спиридоновым, Э.Г. Лютцем, В.Е., Лазарчиком, А.Н. Самохваловым. Всего под его руководством было защищено 20 кандидатских диссертаций и 3 докторских.

В 1975 г. в издательстве Московского университета под редакцией профессора В.Т. Макарова вышел научный труд коллектива кафедры земледелия МГУ «Комплексный метод преобразования дерново-подзолистых почв и его эффективность». В эту книгу вошли результаты многолетних исследований кандидатов биологических наук Г.М. Милославской, В.Ю. Бондаревой, Е.В. Витте. В работе приведены данные по влиянию новой системы обработки почв в севообороте на агрохимические, агрофизические и биологические свойства дерново-подзолистой почвы [5]. Основной массив данных, изложенный в этой книге, был получен в многолетнем полевом опыте кафедры общего земледелия МГУ, заложенном в 1955 г. на территории АБС «Чашниково», расположенном на севере Московской области, в Солнечногорском районе (Клинско-Дмитровская гряда). Севооборот в опыте представлял из себя классический плодосменный (Норфолкский) четырехпольный, с пятым выводным клином. Чередование культур: многолетний клевер, озимые зерновые, пропашные, яровые зерновые с подсевом клевера, пятое поле — выводной клин (выводное поле). На каждом поле севооборота применяли свою систему обработки, которая включала традиционные для данной зоны приемы, но предусматривающая по возможности минимализацию обработки. Так, ос-

новную обработку (глубокая) проводили в опыте 2 раза за ротацию. Два варианта обработки различались только тем, что перед пропашными на одном из вариантов обработки («обычная обработка») проводили обработку плугом с оборотом пласта на глубину 20–22 см, на другом варианте («новая система обработки») проводили глубокое рыхление плугом Мальцева с предплужниками на глубину 33–35 см. В опыте на каждом поле севооборота применяли свою систему удобрений, дозы которых соотносились со средними дозами, применяемыми в то время в стране.

Профессор В.Т. Макаров был убежден, что получение высоких урожаев сельскохозяйственных культур на дерново-подзолистых почвах с мало-мощным гумусовым горизонтом проблематично и поэтому он предложил метод углубления пахотного горизонта мощностью до 30 см, за счет постепенного припахивания подзолистого горизонта и его окультуривание. Методические приемы этого метода были изложены в работе «Создадим глубокий пахотный слой» [6]. Углубление и окультуривание пахотного слоя в настоящее время одна из актуальных задач земледелия. Глубокий пахотный слой позволяет накапливать большее количество влаги, органического вещества, увеличить зону активной деятельности почвенных микроорганизмов и доступность питательных веществ.

Усилиями д.с.-х.н., проф. А.М. Головкова, а также кандидатов наук, старших научных сотрудников Н.Ф. Черкашиной, В.Е. Лазарчика, В.М. Лазарчик, работавших в лаборатории АБС «Чашниково», и также сотрудников кафедры общего земледелия д.б.н., проф. П.Н. Балабко, кандидатов биологических наук старших научных сотрудников И.Б. Макарова и Т.И. Хуснетдиновой четырехпольный севооборот продолжал осуществляться до 2020 года. Продолжение полевых работ в этот год было проблематично из-за пандемии коронавируса. Под руководством В.Т. Макарова было показано, что созданная на протяжении многих десятков лет сильноокультуренная почва на территории Чашниково, обладает уникальными для нашей природной зоны свойствами. Экологическая устойчивость этой почвы поддерживается постоянно в течение десятилетий, несмотря на все катаклизмы, когда в отдельные годы почву не было нечем удобрять.

Большой заслугой В.Т. Макарова было создание на кафедре земледелия двух кабинетов — земледелия с экспонатами деталей почвообрабатывающей техники и кабинета растениеводства с гербарием, коллекцией семян и плодов сельскохозяйственных растений [7].

Василий Тимофеевич всегда активно участвовал в общественной жизни, вел партийную (был членом парткома МГУ), профсоюзную (в 1939–1954 гг. был членом ЦК Союза работников высшей школы) и общественно-политическую деятельность. Входил в состав президиума центрального

правления Общества советско-венгерской дружбы (1958–1975 гг.), неоднократно в составе делегаций посещал Венгрию и ГДР, где выступал с научными докладами.

Василий Тимофеевич Макаров прошел достойный путь от крестьянского сына, учителя сельской школы, начальника политотдела 4-ой ударной армии в военные годы, до доктора сельскохозяйственных наук, профессора, заведующего кафедрой общего земледелия Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Перу В.Т. Макарова принадлежат более 300 научных работ, включая 5 монографий и 80 научно-популярных работ. Его труды были представлены на ВДНХ СССР (1939, 1965, 1967, 1971, 1972), за них был дважды удостоен диплома и свидетельства ВДНХ (в 1967 и 1971).

Жизненный и творческий путь Василия Тимофеевича Макарова — это пример гражданского патриотизма, честного и плодотворного служения науке.

Литература

1. Судьбы творцов российской науки и культуры. Т. 8 / Авт.-сост.: Ильин И.В., Гвозданный В.А., Беляева Г.Ф. — М.: Галлея-Принт, 2022. — 476 с.
2. Развитие естественных наук в Томском университете / А.А. Земцов, В.А. Ивания, Б.Г. Иоганзен, М.П. Кортусов, В.В. Серебренников. — Томск: Изд-во ТГУ, 1980.
3. 200 лет агрономии и почвоведения в Московском университете (1770–1970) / Добровольский Г.В., Евдокимова Т.И., Ливеровский Ю.А. и др. — М.: Изд-во Московского университета, 1970. — 111 с.
4. Лебедева Г.Ф. Кафедра земледелия: итоги и перспективы // Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение, 1979. № 4. — С. 57–60.
5. Комплексный метод преобразования дерново-подзолистых почв и его эффективность / Под ред. проф. В.Т. Макарова. М.: МГУ, 1975. 176 с
6. Макаров В.Т. Создадим глубокий пахотный слой — Казань, 1947. — 23 с.
7. Факультет почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова: Справочник / Под ред. Г.В. Добровольского, С.А. Шобы, А.С. Владыченского, Н.Г. Рыбальского. — М.: НИИ-Природа, 2005. — 358 с.

Сведения об авторах:

Балабко Пётр Николаевич, д.б.н., проф., заведующий кафедрой общего земледелия и агроэкологии факультета почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова; e-mail: balabkopetr@mail.ru.

Рыбальский Николай Григорьевич, д.б.н., в.н.с. Евразийского центра по продовольственной безопасности МГУ, гл. редактор НИИ-Природа, президент Российской экологической академии; e-mail: rng@priroda.ru.

Хуснетдинова Тамара Ивановна, к.б.н., с.н.с. кафедры общего земледелия и агроэкологии факультета почвоведения МГУ.

Матекина Нина Петровна, ведущий инженер кафедры географии почв факультета почвоведения МГУ, инженер Евразийского центра по продовольственной безопасности МГУ.

К 80-летию чл.-корр. РАН С.А. Шобы

21 апреля исполнилось 80 лет известному российскому ученому и педагогу, видному почвоведу и экологу, президенту факультета почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова, заведующему кафедрой географии почв, директору Евразийского центра по продовольственной безопасности МГУ, д.б.н., проф., чл.-корр. РАН Сергею Алексеевичу Шобе.

С.А. Шоба родился в Белорусском Полесье, в д. Борисовичи Мозырского района Гомельской области. В 1963 г. поступил на биолого-почвенный факультет МГУ имени М.В. Ломоносова. С 3-го курса обучения в Университете он на кафедре географии почв, возглавляемой академиком Глебом Всеволодовичем Добровольским. После окончания МГУ поступает в аспирантуру на своей родной кафедре. Область его научных интересов в то время — микроморфологические и минералогические методы исследования почв, объект изысканий — сибирские почвы, научные руководители — Г.В. Добровольский и К.Н. Федоров. Итогом обучения в аспирантуре явилась блестяще защищенная в 1973 году кандидатская диссертация «Микроморфология и минералогия таёжных почв Томского Приобья». Автором диссертации был применен комплекс микроморфологических (описание почвенных шлифов при помощи оптического поляризационного микроскопа) и минералогических (оптическая микроскопия крупных фракций, рентгендифрактометрия илистого вещества) методов изучения почв Томского Приобья.

После защиты кандидатской диссертации молодого ученого оставляют на кафедре географии почв, где он проходит путь от младшего научного сотрудника до заведующего кафедрой в 1992 г.

В 1988 году Сергей Алексеевич защищает докторскую диссертацию «Морфогенез почв лесной зоны». В указанной работе был проведён детальный сравнительный морфогенетический анализ почв подзолистого ряда, сформированных на разных по генезису и составу почвообразующих породах. Так, была показана определяющая роль микростроения глинистого вещества в формировании текстурной дифференциации профилей суглинистых и глинистых почв, установлены критерии выделения иллювиальных горизонтов. Также была зафиксирована роль макро- и микроморфологии Fe-Mn-новообразований в диагностике оглеения почв, установлена роль субмикроморфологии соединений железа и марганца в выявлении физико-химического механизма их образования и кристаллизации. В целом, в диссертационной работе была обоснована и успешно апробирована система методов поэтапного морфогенетического изучения строения и вещественного состава почв. По сути, его впервые на примере значительно количества объектов исследования применяет и углубляет новое направление в морфологии почв — субмикроморфологию, которая позволяет



на основании применения растровой электронной микроскопии и рентгеновского зонда проникнуть в микромир почвенных процессов и объяснить механизм формирования многих свойств почв.

Именно в это время С.А. Шобой была создана на факультете межкафедральная Лаборатория микроморфологии почв, в состав которой входили такие специалисты как В.Н. Бганцов, О.Р. Лепорский, С.Н. Седов, Г.А. Перловский, О.А. Макаров. Итогом деятельности этой лаборатории явились многочисленные результаты исследований микроморфологического и субмикроморфологического строения почв различных природных зон — от арктической до субтропической.

С 1989 г. С.А. Шоба — заместитель декана по научной работе, с 1995 г. по 2020 г. — декан, с 2020 г. — президент факультета почвоведения МГУ. Все эти годы его научно-организационная работа направлена на развитие почвоведения в системе высшего образования и научно-исследовательских учреждений России. На факультете произошло реформирование существующих и открытие новых кафедр. Сергей Алексеевич явился инициатором появления второй специальности у студентов: кроме существовавшей специальности «почвоведение» появилась специальность «экология и природопользование». В 2000 г. он был избран членом-корреспондентом РАН по Отделению общей биологии РАН.

С 2004 г. по 2022 гг. С.А. Шоба являлся президентом Общества почвоведов имени В.В. Докучаева. В эти годы успешно прошли съезды Общества в Новосибирске, Ростове-на-Дону, Петрозаводске, Белгороде, Сыктывкаре, оно существенно укрепилось, в том числе, за счет привлечения молодых специалистов. Как известно, основной задачей деятельности этой общественной организации является выработка стратегии оптимизации хозяйственного использования почвенных ресурсов страны

за счет координация исследований в области генезиса, эволюции, классификации и географии почв. Очевидно, что указанная координация невозможна без объединения усилий специалистов в области почвоведения и смежных дисциплин, работающих в академических и отраслевых научно-исследовательских институтах, в высшей школе и производственных организациях. Сергей Алексеевич прилагал постоянные усилия для сохранения организационного единства в рядах почвоведов в условиях тотальной нехватки средств и непрерывного «реформаторских» изменений в Академии наук и профильных министерствах и ведомствах. В настоящее время Докучаевское общество почвоведов — это уважаемая в мировом почвенном сообществе организация, имеющая совершенно четкую позицию по основным вопросам использования и охраны почв и отстаивающая эту позицию на внутрироссийских и международных площадках.

В течение многих лет Сергей Алексеевич организатор общероссийских и международных конференций, член диссертационного совета по специальности «почвоведение» при МГУ. В 1996 г. он был организатором проведения на факультете Международной конференции по микроморфологии почв с широким международным участием.

Укрепление позиций отечественного почвоведения в настоящее время совершенно невозможно без укрепления позиций профильных журналов, без выведения этих журналов на серьезный международный уровень, без привлечения в редколлегии признанных, в том числе зарубежных специалистов. В настоящее время журнал «Почвоведение», главным редактором которого с 2013 г. по 2022 г. являлся С.А. Шоба, признан ведущим научным изданием страны в области науки о почвах. За эти годы руководству журнала удалось значительно увеличить его импакт-фактор, а переводная версия журнала «*Eurasian Soil Science*» цитируется в международных системах Web of Science и Scopus. Всё это удалось сделать в жестких финансовых реалиях малой рентабельности выпуска подобного журнала.

С 1995 г. по 2020 г. Сергей Алексеевич являлся главным редактором журнала «Вестник Московского университета» (серия «Почвоведение»), в настоящее время он член редакционной коллегии этого журнала. С момента создания бюллетеня «Использование и охрана природных ресурсов в России» в 1997 г. С.А. Шоба — бессменный член Редколлегии журнала. Он также входит в Редсовет журнала «Жизнь земли», председателем которого является ректор Московского университета, академик Виктор Антонович Садовничий.

В последние годы Сергей Алексеевич уделяет значительное внимание проблемам экологический и продовольственной безопасности нашей страны. Он возглавляет Экспертно-аналитический центр по проблемам окружающей среды «Экотерра»,

функционирующий в составе Технопарка МГУ, и Евразийский центр по продовольственной безопасности МГУ.

Экспертно-аналитический центр по проблемам окружающей среды «Экотерра», созданный в 1993 году под эгидой Минприроды России и Московского университета, является уникальной организацией, сочетающей в себе функции изыскательского, проектного, научно-исследовательского центров, обеспечивая тем самым возможность решения сложных комплексных задач, возникающих в области разработки экологических проектов и природоохранной документации.

Евразийский центр по продовольственной безопасности (Аграрный центр) МГУ активно участвует в координации работ по обеспечению участия Российской Федерации в международном сотрудничестве в области продовольственной безопасности и сельского хозяйства. Центр создан в 2011 году приказом ректора МГУ на основании решения Ученого совета МГУ и в соответствии с распоряжением Правительства РФ № 2226-р от 8 декабря 2010 года. Создание центра явилось ответом России на Аквилскую инициативу по продовольственной безопасности, предложенную на саммите G8 в Аквиле (Италия, 2009). Центр осуществляет экспертно-аналитическую деятельность и проводит научные исследования как самостоятельно, так и с привлечением сторонних экспертов и организаций. Евразийский центр по продовольственной безопасности МГУ ставит своей целью содействие укреплению продовольственной безопасности, как в Российской Федерации, так и в Центральной Азии и на Южном Кавказе, то есть в регионах, чья экономическая и социальная стабильность важны для России. В настоящее время ведутся исследования в Таджикистане, Кыргызстане и Армении, где наблюдается критическая ситуация с продовольственной безопасностью.

На протяжении многих лет С.А. Шоба активно занимается преподавательской деятельностью: под его руководством подготовлено 17 кандидатских и две докторских диссертации, им читаются курсы лекций «Землепользование и землеустройство» и «Морфогенетический анализ почв». Сергей Алексеевич неоднократно преподавал на международных курсах по почвоведению и микроморфологии почв (Мехико, 1996; Италия, 2002). В 2013 г. ему присвоено звание «Заслуженный профессор МГУ им. М.В. Ломоносова».

Сергей Алексеевич — автор и соавтор более 350 публикаций, в т.ч. 65 монографий и учебных пособий, среди которых «Растровая электронная микроскопия почв» (1978); «Микроморфология почв природных зон СССР» (1992), «Сульфатнокислые почвы Восточной Фенноскандии» (1997); «Оценка экологического состояния почвенно-земельных ресурсов и окружающей природной среды Московской области» (2000, общ. ред.); «Оцен-

ка экологического состояния почвенно-земельных ресурсов и окружающей природной среды Тульской области» (2001, общ. ред.); «Курс лекций по основам землепользования» (2006); «Морфогенез почв таежно-лесной зоны» (2007); «Экологическая оценка почвенных ресурсов и технологии их воспроизводства (на примере г. Москвы)» (2008); «Soil terminology, correlation and classification» (2009); «Инновации в экологии, почвоведении и сельском хозяйстве» (2010); «Экологическое нормирование и управление качеством почв и земель» (2013, общ. ред.), ««Справедливая» экономика землепользования» (2018, общ. ред.), «Безопасность питания» (2023), «Экологическая безопасность в личном подсобном хозяйстве» (2024) и др.

В 2011 г. при его непосредственном участии и руководстве вышел в свет впервые в нашей стране Национальный атлас почв Российской Федерации. Редакционной коллегией Атласа во главе с С.А. Шобой были собраны, осмысленны, отредактированы и приведены к единой форме сотни почвенных и тематических карт, в подготовке которых принимал участие большой коллектив ученых из более чем 20 научных учреждений страны.

Сергей Алексеевич также является соавтором ряда государственных докладов о состоянии и охране окружающей среды Российской Федерации, госдокладов, докладов и информационных выпусков о состоянии природных ресурсов и окружающей природной среды Московского региона.



Основой для успешной и многогранной деятельности Сергея Алексеевича являются такие его личные качества, как неизменный оптимизм, благожелательное и демократичное отношение к людям, умение учиться и совершенствоваться всегда, в любом возрасте.

21 апреля в рамках торжественного мероприятия, посвященного 80-летию со дня рождения чл.-корр. РАН, заслуженного профессора Московского университета Сергея Алексеевича Шобы, президент Российской экологической академии (РЭА) Николай Рыбальский вручил юбиляру медаль М.В. Ломоносова «За вклад в науку и экологию».

К 75-летию чл.-корр. РАН А.А. Тишкова

31 марта исполнилось 75 лет главному научному сотруднику, заведующему лабораторией биогеографии Института географии РАН, доктору географических наук, профессору, члену-корреспонденту РАН Аркадию Александровичу Тишкову.

А.А. Тишков — один из лидеров российской географии, ведущий специалист в области физической географии и биогеографии, экологии, географии биоразнообразия, экономики сохранения живой природы и заповедного дела, лидер научной школы по актуальной биогеографии, заведующий лабораторией биогеографии ИГ РАН, научный руководитель Института наук о Земле Белгородского государственного национального исследовательского университета, главный редактор «Известий РАН. Серия географическая», председатель диссертационного совета ВАК 24.1.049.2 по специальностям 1.6.12, 1.6.14 и 1.6.21, научный редактор линейки школьных учебников по географии издательства «Русское слово», член ряда научных советов РАН, Президиума Ученого совета и Совета старейшин РГО, сопредседатель его Постоянной природоохранительной комиссии и зам-председателя Московского отделения, председатель Рабочей группы «Международные научные инициативы в Российской Арктике» Международного арктического научного комитета, член научно-технических и экспертных советов и комиссий Росприроднадзора, Минприроды, Минэкономразвития и Минвостокразвития и др.

Аркадий Тишков родился в 1950 г. в Москве. В период учебы в школе занимался в биологическом кружке при Московском обществе испытателей природы, в 1965—1967 гг. работал в научных экспедициях, трижды был победителем Московской биологической олимпиады. Еще в школьные годы он впервые переступил порог Института географии — в 1965 г. в июне был принят на работу в геоботанический отряд Курского стационара. После окончания школы работал квалифицированным рабочим на Почвенном стационаре Биолого-почвенного факультета МГУ. В 1968—1973 гг. учился на Биолого-почвенном факультете МГУ, который закончил по кафедре геоботаники. В период учебы работал лаборантом в Комплексной восточной экспедиции Географического факультета МГУ (1971—1973 гг.), в экспедициях кафедры общего почвоведения Биолого-почвенного факультета МГУ (1970—1972 гг.), участвовал в исследованиях по рекреационной географии Дружины по охране природы МГУ и Института географии (лето 1968—1969 гг.), вел биологический кружок в Городском дворце пионеров (1970—1971).

С 1973 г. А.А. Тишков работает в Институте географии РАН, где прошел путь от старшего лаборанта до замдиректора (2005—2020 гг.) и зав. лабораторией биогеографии (с 1990 г.). В институте встретил свою будущую жену — Н.Ю. Тишкову,



с которой они вместе уже более 50 лет. В 1979 г. защитил кандидатскую, а в 1994 г. — докторскую диссертации. Участник и руководитель многих научных экспедиций — в Арктику, Сибирь, Шпицберген, Среднюю Азию, Китай и Вьетнам. Участвовал в создании ряда ООПТ, в т.ч. национального парка Валдайский, где еще в 1974 г. участвовал в создании Валдайского стационара ИГ РАН. С 1997 по 2003 гг. по совместительству работал в Центре международных проектов при Госкомэкологии России управляющим в международном проекте по сохранению биоразнообразия России. В 1980 — начале 2000-х гг. читал лекции в университетах России, а в качестве приглашенного профессора в 2003 и 2007 гг. — в университетах Китая. С 2018 г. — научный руководитель Института наук о Земле Белгородского ГНИУ. Лауреат премии Москвы «Профессор—2000» по результатам опроса студентов.

А.А. Тишков является автором около 1000 научных и научно-популярных публикаций, в т.ч. более 100 на английском, немецком, испанском, французском и китайском языках: 16 авторских и около 50 коллективных монографий, карт, учебных пособий, очерков для энциклопедий, научно-художественной книги об учителях и старших коллегам «Люди нашего племени» (2012). В составе авторов и как редактор — лауреат конкурсов лучшей научной книги: за «Северную энциклопедию» (2003), «Биологический круговорот на пяти континентах» (2008), номинант премии «Хрустальный глобус» за «Атлас государственных природных заповедников Российской Федерации» (2017). Редактор более 50 монографий, член редколлегий многих ведущих журналов географического профиля. Под его руководством 32 аспиранта защитили диссертации, в т.ч. из Китая, Кубы, Таджикистана и Узбекистана. С 2005 г. — председатель диссовета ВАК по специальностям: физическая

география, биогеография и география почв, геоморфология, палеогеография и геоэкология.

Аркадий Александрович внес выдающийся вклад в развитие современной физической географии и биогеографии: обосновал новое направление — исследование географических закономерностей динамики ландшафтов, разработал подходы к сравнительно-географическому анализу структуры, функционирования и продуктивности экосистем, новое биогеографическое районирование России, стоял у истоков «географии биоразнообразия», «актуальной биогеографии» и представлений об антропоцене в современных исследованиях биоты. Развивает концепцию смены парадигмы взаимодействия географии с практикой и ведущей роли практической географии в территориальной охране природы и в сохранении биоразнообразия. Он участник мировых сводок по арктическим (Polar and alpine tundra, 1997; Conservation Arctic Flora and Fauna., 2001), степным (Eurasian Steppes., 2012), луговым и кустарниковым (Grasslands and shrublands., 2020) и таежным (Praderies i taiga, 1994; Boreal forests..., 2002) экосистемам, по лесным, торфяным и травяным пожарам (Forest Fires..., 2005; Fires in Steppes..., 2005; Peat Fires..., 2005), соавтор учебника по физической географии Северной Евразии (The physical geography of Northern Eurasia, Oxford, 2002) и методик по оценке экосистемных услуг (Efassung und Bewertung ..., 2012; Ecosystem services..., 2018).

А.А. Тишков много сделал для практики охраны живой природы: участник более 50 государственных экологических экспертиз, один из авторов законопроекта «Об охране растительного мира», «Национальной стратегии сохранения биоразнообразия» (2001), «Стратегии сохранения биоразнообразия Байкала» (2001), «Стратегии сохранения биоразнообразия водно-болотных угодий Нижней Волги» (2009) и «Стратегического плана действий по защите окружающей среды Российской Арктики» (2010), Государственной методики кадастровой оценки земель природоохранного назначения (2002). С конца 90-х гг. развивает подходы и методы учета экосистемных услуг и экономических механизмов в сохранении биоразнообразия; руководитель подготовки всех 5-ти национальных докладов о выполнении Россией обязательств по Конвенции о биологическом разнообразии. Его статьи, интервью и комментарии по актуальным проблемам экологии и географии постоянно появляются в СМИ (МК, РБК, Известия, Аргументы и факты, Независимая газета, на каналах ТВ, в интернете).

Аркадий Александрович консультант фильмов и автор биографических публикаций о Н.М. Пржевальском, П.Н. Чихачеве, В.А. Обручеве, П.К. Козлове и др., очерков о географах-современниках — Э.М. Мурзаеве, И.П. Герасимове, М.И. Нейштадте, Н.Ф. Глазовском, А.А. Чибилеве, Ю.Г. Пузаченко, Д.В. Панфилове, А.Н. Формозове, С.В. Кирикове,

Ю.А. Исакове, А.А. Насимовиче, Д.Л. Арманде, Н.И. Базилевич, О.С. Гребенщикове и др. В 70-х гг. он занимался в литературной студии «Новая магистраль». Его стихи публиковались в поэтических сборниках, журналах и газетах, звучали на радио, на выступлениях в ЦДЛ и Доме ученых. В разные годы вышли книги его стихов — «Полевые дневники» (1996), «Язычество осени» (2000), «Под сенью рук твоих» (2007), «Великий водораздел» (2010), «Ассоциации» (2020).

Юбиляр оставляет время и для увлечений — библиотека, рыбалка, дача, коллекционирование. Вместе с женой он собрал коллекцию народной глиняной игрушки, которая неоднократно выставлялась, в т.ч. в Эрмитаже, где вместе с экспонатами других коллекционеров была передана в дар (2001). Небольшая коллекция русской и украинской игрушки подарена Музеем народно-прикладного искусства г. Сумы (Украина), а коллекция авторских гравюр художника М.В. Полякова — Саратовскому художественному музею им. А.Н. Радищева. Готовится к передаче Музею Победы в Москве собранная юбиляром коллекция книг, изданных в 1941–1945 гг.

К прежним наградам за активную научную и научно-организационную деятельность юбиляра — Заслуженный деятель науки РФ, Почетный работник охраны природы РФ, медаль «В память 850-летия Москвы» (1997), Почётная грамота Президиума РАН в связи с 275-летием РАН (1999), «За вклад в заповедное дело» и др., добавились те, которыми наградило его в последние годы профессиональное сообщество — Малая золотая медаль РГО им. акад. И.П. Бородина (2012), Благодарность президента РГО за активное участие в деятельности РГО (2020) и Золотая медаль им. проф. Н.Ф. Реймерса (2011) — за большой вклад в охрану природы, а также Орден В.И. Вернадского (2018) — за заслуги в сохранении природы России. Он награжден Почетной грамотой Президента РФ (2024) и юбилейной медалью «300 лет Российской академии наук» (2024).

Юбиляр полон сил и планов, погружен в ежедневные дела — трудится на благо отечественной географии и экологии. Накануне юбилея каналу «Научная Россия» дал интервью «География изучает меняющуюся картину мира», подготовил к своему юбилею и к юбилею РАН книгу «Краткая история академической географии России» (2025), опубликовал серии статей о географических открытиях XX в., о биогеографических последствиях изменений климата в Арктике, о сохранении степей на новых территориях, выиграл грант РНФ по биогеографии Арктики, вошел в госкомиссию по Монгольской ГЭС, строит планы по экспедиции в Новгородскую область и по проведению конференции к 35-летию нацпарка Валдайский, готовит доклад на Международный форум «Арктика — территория диалога»...

К 75-летию проф. В.В. Снакина

24 апреля исполнилось 75 лет доктору биологических наук, профессору, главному научному сотруднику Института фундаментальных проблем биологии РАН, заведующему сектором Музея земледелия МГУ им. М.В. Ломоносова Валерию Викторовичу Снакину.

Снакин В.В. родился в Тамбовской области, учился в школе с. Шумиловка, затем в средней школе № 53 г. Грязи Липецкой области, в школах № 75, 133 и 43 г. Перми и средней школе № 75 г. Краснодара, которую закончил в 1967 г. В том же году поступил на инженерный физико-химический факультет Московского химико-технологического института им. Д.И. Менделеева (ныне — РХТУ имени Д.И. Менделеева), который закончил с отличием в 1973 г., получив специальность инженера-технолога.

В 1973 г. принят в аспирантуру Института агрохимии и почвоведения АН СССР, по результатам которой под руководством проф. А.Н. Тюрюканова и чл.-корр. В.А. Ковды в 1978 г. защитил на факультете почвоведения МГУ диссертацию на соискание ученой степени кандидата биологических наук по специальности «почвоведение» об исследовании биогенного круговорота в системе почва — растение. По итогам дальнейшей научной работы в 1992 г. в Днепропетровском госуниверситете (Украина) защитил диссертацию «Экологическая роль жидкой фазы почвы в биогеоценозе» на соискание ученой степени доктора биологических наук по специальности «экология». В 1998 г. решением ВАК СССР получил звание «профессор».

Трудовую деятельность начал в 1973 г. и продолжает до сих пор (с 1991 г. по совместительству) в Институте агрохимии и почвоведения АН СССР, который трансформировался вначале в Институт почвоведения и фотосинтеза, а затем в Институт фундаментальных проблем биологии РАН (ИФПБ РАН). Параллельно работал во Всероссийском институте охраны природы (ВНИИприроды, замдиректора, и.о. директора), Российском экологическом федеральном информационном агентстве (РЭФИА, замдиректора), Международном эколого-политологическом университете (МНЭПУ, руководитель Центра научных программ, проректор по науке), Национальном информационном агентстве «Природные ресурсы» (замдиректора), ООО «Эгнергодиагностика» (начальник отдела экологии). С 2007 г. — завсектором музейно-методической работы и фондов Музея земледелия в МГУ им. М.В. Ломоносова.

Научно-просветительская деятельность В.В. Снакина охватывает весьма актуальные и поистине необъятные экологические проблемы и закономерности, сопряжённые с процессами глобализации. Сегодня он — один из ведущих специалистов в нашей стране в области экологии и природопользования. Значительное место в его исследованиях занимает разработка методов экологического мониторинга и комплексной оценки степени де-



градации и устойчивости экосистем. Валерий Викторович — участник подготовки многих выпусков ежегодных государственных докладов «О состоянии и охране окружающей среды в Российской Федерации». Большой вклад в картографическое обобщение экологической ситуации сделан им совместно с коллегами по лаборатории ландшафтной экологии ИФПБ РАН. Он — один из авторов Федерального атласа «Природные ресурсы и экология России» (2002, 2003), Национального атласа России в 4-х томах (2005—2008), Атласа современных и прогнозных аспектов последствий аварии на Чернобыльской АЭС (2009), Атласа Восточно-Уральского и Карачаевского радиоактивных следов (2012), Национального атласа почв РФ (2011), Национального атласа Арктики (2017), Экологического атласа России (2017), «Водохозяйственного атласа Российской Федерации» (2020) и др.

Валерий Викторович внёс существенный вклад в развитие терминологии в области экологии и природопользования. Он является автором словарей «Экология и охрана природы» (под ред. А.Л. Яншина), «Заповедное дело» (2003, в соавт. с проф. В.В. Дёжкиным), энциклопедического словаря «Экология, глобальные природные процессы и эволюция биосферы» (2020) и мн. др.

К фундаментальным теоретическим обобщениям относится выдвинутая учёным в 2016 г. гипотеза о причинах массовых вымираний биологических видов в силу исключения фактора географической изоляции при периодическом объединении материков (геодинамика), а также в результате процессов глобализации на современном этапе развития биосферы. Снакин В.В. провел критический обзор представлений о причинах глобального потепления и о роли в этом про-

цессе углекислого газа атмосферы, а также о возможных способах противодействия негативным последствиям потепления.

Руководил выполнением целого ряда проектов: Международного научного фонда (JHE100—1995), РФФИ (95—04-28659-а; 95—07-19223-в; 95—04-28659-д; 99—04-62081; 03—04-62071-д; 05—06-80292-а, 19—15-00047 Д экология и др.), Неправительственного экологического фонда им. В.И. Вернадского (1998) и др.

Имеет большой опыт проведения экологического мониторинга, экоконтроля и государственной экологической экспертизы. Участвовал в экспертизе Ростехнадзора материалов проекта «Сахалин-1»; ТЭО строительства горно-металлургического предприятия на базе месторождения «Майское»; ОВОС ТЭО освоения месторождения россыпной платины «Южный»; ОВОС обоснования инвестиций в строительство нефтепроводной системы Восточная Сибирь — Тихий океан; ОВОС проекта строительства Третьего транспортного кольца Москвы (Лефортовский туннель), руководил проведением производственного экомониторинга при строительстве газопровода «КС Изобильный — Невинномысск» (Ставропольский край) и др. Участвовал в разработке экологических нормативов воздействия на окружающую среду объектов нефтегазовой промышленности, разработки экополитики и системы экоменеджмента организаций.

Значительное место в деятельности Валерия Викторовича занимает преподавание: он в течение многих лет читал лекции по курсам «Глобальные природные процессы и эволюция биосферы», «Экология», «Ландшафтная экология» в Пущинском госуниверситете, МГУ, а также в РГГУ, руководил студенческими и аспирантскими исследованиями. Долгое время он был одним из организаторов Всероссийских олимпиад школьников по экологии (2005—2017 гг.). С 2014 г. — председатель жюри Всероссийского конкурса школьных экологических проектов «Человек на Земле», работал в Образовательном центре «Сириус» (2017), увлекая представителей юного поколения вопросами экологии и воспитывая в них любовь к природе.

Работая в Музее землеведения МГУ, В.В. Снакин вместе с коллегами щедро отдает свои силы и энтузиазм развитию Музея, обновлению и совершенствованию музейной экспозиции, созданию многочисленных выставок, организации на базе Музея научных семинаров. Под его руководством и с его участием были организованы выставки: «Кин-Алтай» (2009), «Учебно-научные станции Мо-

сковского университета (к 300-летию со дня рождения М.В. Ломоносова)» (2011), «Недаром помнит вся Россия... (к 200-летию победы России в Отечественной войне 1812 года)» (2012), «Творческий путь Владимира Ивановича Вернадского» (2013), «Микроорганизмы в глобальной истории Земли» (2013), «Воробьевы горы: от Храма Христа Спасителя к Храму науки» (2013), «Крым — геологическое чудо» (2017), «60 лет в Космосе» (2017), «1911/1917: две даты в жизни Московского университета» (2017), «Амто, Корякия!» (2018), «Геологический след человека» (2019), «Музей землеведения в зеркале истории МГУ», «Живое вещество в геосферах» (2023), «Русский Север. Образы России в фотоколлекции Д.Н. Анучина» (2023) и др.

Важнейшим его делом в настоящее время является подготовка к изданию журнала «Жизнь Земли», созданного в 2016 г. на базе одноименного ежегодника научных работ. Благодаря его неустанной деятельности журнал с каждым годом становится все интереснее, статус его повышается, улучшается содержание и оформление.

В.В. Снакин стоял у истоков создания в 1997 г. бюллетеня «Использование и охрана природных ресурсов в России», все эти годы являясь заместителем главного редактора журнала. Вот уже около 15 лет он является членом Президиума Росэкоакадемии, возглавляя секцию «Природные ресурсы» — одну из наиболее активно работающих секций Академии.

Валерий Викторович — Ветеран труда, Почетный работник сферы образования РФ (2020), награжден Премией Правительства РФ в области науки и техники (2004) и Премией им. А.Н. Косыгина (2003) за разработку экологических атласов России, премией «Хрустальный компас» (2018), Национальной экологической премией имени В.И. Вернадского (2018), дипломом II ст. с вручением медали академика Н.Н. Моисеева (2019).

В.В. Снакин — автор более 370 статей и 100 книг. Среди монографий: «Анализ состава водной фазы почв» (Наука, 1989), «Soil Liquid Phase Composition» (Elsevier, 2001), «Оценка состояния и устойчивости экосистем» (1992), «Доклад о свинцовом загрязнении окружающей среды Российской Федерации» (1997), «Метан в атмосфере, метанотрофы и развитие нефтегазовой промышленности» (2021), «Philosophical Aspects of Globalization: A Multidisciplinary Inquiry» (Brill Academic Publ., 2022), «Formation and Evolution of Earth's Crust» (IntechOpen, 2023), «Образы России и мира в фотоколлекции Д.Н. Анучина. Этнографический альбом» (Т. 1, 2020; т. 2, 2023) и др.

К 75-летию проф. М.М. Черепанского

24 июня исполнилось 75 лет доктору геолого-минералогических наук, профессору кафедры гидрогеологии имени В.М. Швеца Российского государственного геологоразведочного университета им. С. Орджоникидзе Михаилу Михайловичу Черепанскому.

В 1967 году поступил в Белорусский государственный университет, в 1970 г. был переведен в Гомельский госуниверситет, который закончил в 1972 г. и получил квалификацию «инженер-геолог-гидрогеолог». По окончании ГГУ работал гидрогеологом в институте «Союзгипромелиоводхоз» Минводхоза СССР. После службы в Армии с 1974 г. работал ст. инженером Центрального научно-исследовательского института комплексного использования водных ресурсов (ЦНИИКИВР) Минводхоза СССР. В 1975 г. поступил в аспирантуру ЦНИИКИВР, которую окончил в 1978 году. В 1983 г. защитил диссертацию и получил степень кандидата геолого-минералогических наук. В 1987 г. ему присвоено звание старший научный сотрудник по специальности «гидрогеология». С 1979 г. младший, а затем старший научный сотрудник в ЦНИИКИВР. С 1992 г. — заведующий лабораторией, замдиректора по научной работе, директор ЦНИИКИВР Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. С 2003 г. — ведущий научный сотрудник, руководитель группы Института проблем использования природных ресурсов и экологии НАН Белоруссии. С 2004 г. — руководитель Московско-Окского бассейнового водного управления Федерального агентства водных ресурсов МПР России. В 2005–2007 гг. — замдиректора Национального информационного агентства «Природные ресурсы». С 2005 года работает в РГГУ им. С. Орджоникидзе (МГРИ): профессор, проректор, начальник управления, заведующий кафедрой гидрогеологии. За это время получил степень доктора геолого-минералогических наук (2007) и звание профессора «гидрогеологии» (2018) ведущего геологического вуза страны.

Михаил Михайлович высококвалифицированный специалист в области использования и охраны водных ресурсов, гидрогеологии и экологии. Профессиональный гидрогеолог сертифицированный (94-HG-1081) Американским институтом гидрологии (1994), член Международной ассоциации гидрогеологов (1996), академик Белорусской инженерной академии (1997). Его научные исследования посвящены теории и практики управления охраны водных ресурсов, взаимосвязи поверхностных и подземных вод, прогнозу влияния отбора подземных вод на гидрологические и гидрогеологические условия прилегающих территорий, их защите, охране водных объектов от загрязнения и истощения. Под его руководством выполнены фундаментальные и прикладные научно-исследовательские работы по установлению закономер-



ностей взаимосвязи поверхностных и подземных вод, определению влияния отбора подземных вод на основные компоненты природной среды (поверхностных и подземных воды, почвы, растительность), разработки методических рекомендаций по охране поверхностных и подземных вод с учетом экологических факторов, разработке мероприятий по экологической безопасности объектов хранения нефтепродуктов и автозаправочных станций. Часть его работ посвящена оценке влияния карьерных водоотливов на поверхностные и подземные воды прилегающих территорий и разработке мероприятий по ликвидации негативных последствий. Являлся инициатором постановки и разработки, реализованных в Республике Беларусь, исследований по научному обоснованию водоохранных зон и прибрежных зон больших и средних рек, а также водотоков и водоемов в городах. Результаты исследований внедрены и используются для водообеспечения и водоотведения целого ряда объектов, при оценке влияния на водные ресурсы, разработке водоохранных мероприятий и программ мониторинга, а также восстановлении малых водотоков и водоемов, рекультивации карьеров при добыче полезных ископаемых, полигонов захоронения ТБО, водообеспечения АЭС и производств в Российской Федерации. Является автором «Методики учета использования подземных вод при установлении водохозяйственных балансов для оценки доступных водных ресурсов в схемах комплексного использования и охраны водных объектов речных бассейнов России».

Автор и соавтор более 260 научных публикаций, среди которых 26 учебных пособий и 37 монографий.

В РГГУ им. С. Орджоникидзе читает курсы лекций по учебным дисциплинам: «Поиски и разведка подземных вод», «Гидрогеологические исследования» «Взаимосвязь подземных и поверхностных вод», «Инженерная гидрогеология исторических территорий», «Комплексное использование пресных подземных и речных вод», «Гидрогеологическое моделирование», «Современные проблемы поисково-разведочных работ и оценки запасов пресных подземных вод», «Комплексное использование подземных вод», «Гидрогеологические исследования различных типов месторождений подземных вод», ведет практические и лабораторные занятия, руководит дипломными и курсовыми проектами, производственной и преддипломной практиками, а также научной работой аспирантов, магистрантов и студентов.

Принимал активное участие в выполнении международных программ по охране и управлению водных ресурсов бассейнов рек Днепр, Западная Двина, Западный Буг, Неман. Научный руководитель проекта «Оценка современного состояния подземных источников питьевого водоснабжения бассейна р. Днепр (в пределах Беларуси)» (2004 г.), рамках разработки проекта ВУ/00/001 «Система управления окружающей средой и мониторинга Беларуси (Восстановление бассейна реки Днепр)». Принимал участие в разработке и выполнении российско-белорусских проектов Фонда фундаментальных исследований «Перспективы надежного обеспечения водными ресурсами АЭС европейской территории России и Белоруссии в условиях изменяющегося климата» (2012–2013 гг.), «Подземный сток и ресурсы пресных подземных вод бассейна р. Западной Двины» (2014–2015 гг.), «Подземные воды в водных ресурсах и водном балансе крупных артезианских бассейнов (на примере западной части

Московского артезианского бассейна)» (2016–2017 гг.).

Являлся наблюдателем от Республики Беларусь в Хельсинской конвенции по защите окружающей среды Балтийского моря («ХЕЛКОМ»), руководителем рабочей группы по проблемам охраны водных ресурсов Межгосударственного экологического совета СНГ, членом Экологического Совета при Комиссии Парламентского Собрания Союза Беларуси и России по природным ресурсам, экологии и охране окружающей среды. С 2012 по 2022 гг. являлся координатором (с Российской стороны) по подготовке концепций программ Союзного государства: «Разработка современных технологий геологического изучения, рационального и экологически безопасного использования ресурсов недр России и Беларуси («Геологоразведка и природопользование»); «Использование и охрана трансграничных вод Республики Беларусь и Российской Федерации» («Трансграничные воды»), «Разработка программно-аппаратной платформы для оживления водных объектов в городах России и Беларуси» («Живая вода»).

Являлся членом Общественного совета при Росприроднадзоре, член Редсовета бюллетеня «Использование и охрана природных ресурсов в России».

За многолетний и добросовестный труд награжден в 1989 г. значком «Отличник Минводхоза СССР», в 2000 г. — Почетной грамотой Минприроды Республики Беларусь, в 2010 г. — Почетной грамотой Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации, в 2014 г. — серебряным нагрудным знаком «Геологическая служба России», в 2016 г. — медалью имени А.Е. Ферсмана «За заслуги в геологии», в 2018 г. — нагрудным знаком «Отличник водного хозяйства», в 2020 г. — нагрудным знаком «Почетный работник водного хозяйства».

Редакция журнала сердечно поздравляет членов Редколлегии и Редсовета с юбилеем, желает им счастья и благополучия, успехов и новых свершений, крепкого здоровья и долгих лет жизни, оптимизма и молодости души!

Календарь мероприятий

EDN ZHZKRХ

УДК 338.439

Итоги встречи ведущих ученых в области сельского хозяйства стран G20

Р.А. Ромашкин¹, к.э.н., Е.В. Цветнов^{1,2}, к.б.н.

¹Евразийский центр по продовольственной безопасности МГУ им. М.В. Ломоносова

²Факультет почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова

В статье представлены результаты 14-й ежегодной встречи ведущих ученых в области сельского хозяйства стран G20 (MACS G20), состоявшейся 26–28 мая 2025 г. в ЮАР (г. Полокване). Данное мероприятие стало первой встречей подобного формата на африканском континенте и объединило делегации более 20 стран, а также международных организаций. В статье рассмотрены шесть ключевых тематических направлений указанной встречи: трансформация агропродовольственных систем, рациональное использование биоразнообразия и генетических ресурсов, здоровье почв, климатически оптимизированное сельское хозяйство, устойчивая биоэкономика и цифровизация сельского хозяйства. Особое внимание уделяется анализу принятого итогового коммюнике, в котором сформулированы стратегические рекомендации для стран G20 по устойчивому развитию агропродовольственного сектора.

Ключевые слова: MACS G20, сельское хозяйство, агропродовольственные системы, устойчивое развитие, климатические изменения.

Введение

С 26 по 28 мая 2025 г. в ЮАР (г. Полокване), прошла 14-я ежегодная встреча ведущих ученых в области сельского хозяйства стран G20 (MACS G20) [1]. Важно отметить историческое значение мероприятия как первой встречи такого формата на африканском континенте. Девизом этого события стал лозунг «Солидарность, равенство, устойчивость», воплощающий южноафриканскую философию Убунту: «Я существую, потому что мы существуем».

В мероприятии приняли участие делегации из стран-членов G20, Европейского союза, Африканского союза, а также представители приглашенных государств и международных организаций, таких как Африканский банк развития, Глобальное исследовательское партнерство CGIAR, Форум для сельскохозяйственных исследований в Африке (FARA), CAB International (CABI), Центр координации сельскохозяйственных исследований и развития для Южной Африки (CCARDESA) и др. Российскую Федерацию на встрече представляли сотрудники Евразийского центра по продовольственной безопасности (ЕЦПБ) МГУ имени М.В. Ломоносова: замдиректора Роман Ромашкин и с.н.с. Евгений Цветнов.

Проведение встречи в Южной Африке привлекло внимание к особенностям развития сельского хозяйства этой страны и вызовам, с которыми оно сталкивается. Несмотря на экономический застой последнего десятилетия, коммерческое сельское хозяйство ЮАР демонстрирует значительный рост как в объеме, так и в стоимости продукции. Производство кукурузы, основной продовольственной культуры региона, достигло рекордных уровней. Причем за 2016–2021 гг. зафиксированы четыре из шести крупнейших урожаев в истории страны. Существенно выросло производство птицы, стоимостные объемы которого превысили 60 млрд рандов, что составляет около 20% стоимости всей сельхозпродукции республики.

Однако мелкомасштабное сельское хозяйство в ЮАР сталкивается с серьезными проблемами. В бывших бантустанах и на земле, переданной в рамках земельной реформы, производство кукурузы составляет менее 5% национального объема с урожайностью около 1,8 т/га по сравнению с 6 т/га на коммерческих фермах. Исследования показывают сокращение обрабатываемых площадей в сельских районах, особенно в Восточном Кейпе. Причинами этого являются высокие затраты и ри-

ски богарного земледелия, отсутствие техники, уменьшение доступности рабочей силы и проблемы с выпасом скота [2].

Эти и другие вызовы, стоящие перед сельским хозяйством ЮАР, созвучны с глобальными проблемами, обсуждавшимися в рамках MACS G20, включая изменение климата, деградацию почв, сокращение биоразнообразия, необходимость трансформации агропродовольственных систем, развития цифровизации и внедрения инновационных технологий.

Ключевые темы и результаты MACS G20

MACS G20 в 2025 г. была организована вокруг обсуждения шести основных тематических направлений: 1) трансформация агропродовольственных систем; 2) рациональное использование биоразнообразия, генетических и природных ресурсов; 3) здоровье почв и их рациональное использование; 4) укрепление климатически оптимизированного сельского хозяйства; создание устойчивой биоэкономики сельского хозяйства; 5) цифровое сельское хозяйство; 6) внедрение технологий Четвертой промышленной революции.

Трансформация агропродовольственных систем. Филипп Моген из Французского национального исследовательского института сельского хозяйства, продовольствия и окружающей среды (INRAE) подчеркнул критическое состояние глобальных продовольственных систем. Несмотря на 30% рост производства продовольствия на душу населения с 1961 г., в мире порядка 733 млн человек страдают от хронического недоедания, а более трети населения планеты не может позволить себе полноценное питание. Особую тревогу вызывает тот факт, что современные агропродовольственные системы стали основным фактором нарушения шести из девяти «планетарных границ», включая изменение климата, сокращение биоразнообразия и нарушение азотного и фосфорного циклов. Без радикальной трансформации к 2050 г. негативное воздействие продовольственных систем на окружающую среду может вырасти на 50–90%.

Представитель российской делегации в своем выступлении отметил, что российская политика по преобразованию агропродовольственных систем сочетает технологические и экологические приоритеты, социальную стабильность и экспортную ориентацию. Особое внимание было уделено роли мелких фермеров, для которых ЕЦПБ МГУ проводит успешные многолетние полевые испытания различных сельскохозяйственных культур в странах Центральной Азии, разрабатывает недорогие технологии обработки и хранения урожая, а также предоставляет консультационные и образовательные услуги.

Рациональное использование биоразнообразия и здоровье почв. Проф. Бонгани Ндим-

ба из Совета по сельскохозяйственным исследованиям ЮАР в своем выступлении уделил особое внимание ключевым факторам деградации биоразнообразия, включая изменение практик землепользования, монокультурное земледелие и климатические изменения. Он подчеркнул, что более 33% мировых почв подвержены деградации, и отметил необходимость дополнительных исследований в области регенеративного земледелия и устойчивого управления почвенными ресурсами.

Российская делегация подчеркнула необходимость развития информационных систем о почвах, основанных на использовании картографических баз данных и данных ГИС. В качестве успешного примера было отмечено создание в 2020 г. в МГУ Центра коллективного пользования учебным и научным оборудованием, деятельность которого направлена на цифровую инвентаризацию почвенной информации.

Климатически оптимизированное сельское хозяйство. Гарри Кларк, спецпредставитель Глобального исследовательского альянса по сельскохозяйственным парниковым газам, представители Китая и ЮАР обсудили стратегии адаптации сельского хозяйства к изменениям климата и смягчения их последствий. Кларк отметил, что животноводство непосредственно вносит 23% в текущее глобальное потепление. Основными антропогенными факторами роста выбросов в сельском хозяйстве стали увеличение потребления мяса и молока (более чем на 20% с 1990 г.), рост использования синтетических удобрений (на 41%), увеличение поголовья скота и повышение продуктивности животных.

Российская сторона представила прикладной инструмент для оценки влияния изменения климата на растениеводство — систему поддержки принятия решений «Климат—почва—урожай», объединяющую технологии больших данных с динамическими моделями энергомассообмена и продуктивности агроэкосистем [3].

Устойчивая биоэкономика и цифровое сельское хозяйство. Ханс ван Мейл из Вагенингенского университета (Нидерланды) в своем докладе отметил рост интереса к биоэкономическим стратегиям во всем мире. Так, международные организации, включая G20, G7 и ООН, признают ключевую роль биоэкономики в устойчивом развитии, и уже 60 стран разработали собственные биоэкономические стратегии. Однако их фокус различается: в развитых странах акцент делается на экологическую устойчивость, в развивающихся — на продовольственную безопасность и экономический рост. Ван Мейл подчеркнул потенциал Африки для развития биоэкономики благодаря богатым биоресурсам, «молодому» населению и предпринимательскому потенциалу.

Участники сессии также обсудили вопросы финансирования исследований, необходимости

использования государственно-частного партнерства, проблемы цифрового разрыва и важность адаптации цифровых инструментов к местным условиям и потребностям фермеров.

Еще одна тема была посвящена вопросам потерь и отходов, которые традиционно рассматриваются в рамках MACS G20. Следует отметить, что «Инициатива по сотрудничеству: продовольственные потери и пищевые отходы» уже отмечает свое 10-летие. Инициатива была поддержана в ходе MACS G20 в 2015 г. (Турция, г. Измир) [4]. В ходе текущей встречи вновь было подчеркнуто, что человечество теряет почти треть производимой пищи после сбора урожая, во время переработки, в процессе торговли и потребления. Эти потери и отходы ассоциированы с порядка 10% глобальных выбросов парниковых газов, которые ускоряют изменение климата. Примерно 17% мирового потребления пресной воды используется для производства продовольствия, которое в итоге теряется или выбрасывается. Предотвращение этих потерь является одним из самых мощных рычагов для решения проблемы продовольственной безопасности растущего населения планеты, борьбы с изменением климата, сохранения и эффективного использования ограниченных ресурсов.

Среди достижений инициативы была отмечена организация ежегодных семинаров по вопросам предотвращения потерь и отходов продовольствия в сотрудничестве с председательствующей в G20 стороной. С 2018 г. эти семинары объединили около 1200 заинтересованных представителей из 119 стран. В 2020 г. ООН объявила 29 сентября Международным днем осведомленности о продовольственных потерях и отходах.

Итоги встречи

По итогам встречи впервые после 2022 г. было принято коммюнике. Этот документ воплощает консенсус участников G20 по ключевым вопросам развития сельского хозяйства и продовольственных систем. Коммюнике структурировано вокруг шести тематических приоритетов, обсужденных в рамках заседания, и содержит ряд стратегических рекомендаций.

Первый тематический раздел коммюнике посвящен трансформации сельскохозяйственных и продовольственных систем. В нем отмечается, что глобальные продовольственные системы развиваются для обеспечения продовольственной безопасности и питания в условиях климатических изменений, конфликтов, утраты биоразнообразия и дефицита водных ресурсов. Участники признают ценность использования разнообразных подходов — от точного земледелия и устойчивой интенсификации сельского хозяйства до регенеративных и агроэкологических практик, селекции и других инновационных методов ведения сельского хозяйства. Важным аспектом является

усиление связи между наукой, политикой и обществом, а также проведение исследовательской деятельности в связке с сельхозпроизводителями как ключевыми участниками процесса трансформации агропродовольственных систем.

В разделе о рациональном использовании биоразнообразия, генетических и природных ресурсов подчеркивается, что ухудшение качества природных ресурсов представляет глобальную проблему с серьезными последствиями для обществ, сельского хозяйства, биоразнообразия и экосистемных услуг. Участники MACS G20 выражают поддержку глобальным обязательствам в рамках Конвенции о биоразнообразии, включая Куньминско-Монреальскую глобальную рамочную программу по биоразнообразию, Десятилетие ООН по восстановлению экосистем и Конвенцию ООН по борьбе с опустыниванием. Особое внимание уделяется адаптированным к местным условиям подходам к сохранению биоразнообразия, ценности традиционных знаний и справедливому распределению выгод от использования генетических ресурсов.

Третий раздел коммюнике фокусируется на здоровье почв и устойчивом управлении почвенными ресурсами. Документ констатирует, что здоровье почв во всем мире находится под угрозой из-за неустойчивых сельскохозяйственных практик, опустынивания, загрязнения и изменения климата. Участники встречи поддерживают исследования и инновационные практики для улучшения здоровья почв. Особо отмечается Африканский план действий по удобрениям и здоровью почв на 2024–2034 гг., направленный на усиление согласованности политики и действий в области устойчивого сельского хозяйства.

В разделе о климатически оптимизированном сельском хозяйстве признается, что изменение климата представляет одну из наиболее серьезных проблем для человечества, особенно в контексте прогнозируемого роста населения Земли до 9,8 млрд человек к 2050 г. Это затрудняет обеспечение глобальной продовольственной безопасности, сокращение бедности и голода, а также достижение социальной справедливости. В коммюнике подтверждается важность исследований в области адаптации и смягчения последствий изменения климата с учетом специфики конкретных регионов.

Особое внимание в документе уделяется вопросу справедливого доступа к финансированию, технологиям и другим ресурсам для мелких фермеров, женщин, молодежи, коренных народов и местных сообществ. Это призвано повысить адаптационный потенциал агросектора для обеспечения его устойчивости к климатическим изменениям. Участники выразили приверженность Шарм-эль-Шейхской совместной программе РКК ООН по реализации действий в области сельского хозяйства и продовольственной безопасности.

Важным аспектом является призыв представителей научного сообщества к странам G20 обмениваться информацией и укреплять сотрудничество для поддержки климатически устойчивых практик, включая консультационные услуги и системы раннего предупреждения. Коммюнике подчеркивает необходимость интеграции научных знаний, технологий, инноваций и традиционных знаний коренных народов. Отдельно отмечается влияние климатических изменений на глобальный водный цикл и необходимость внедрения интегрированного управления водными ресурсами для обеспечения водоустойчивого сельского хозяйства.

Пятый тематический раздел коммюнике посвящен построению устойчивой биоэкономики. Участники встречи признают важность стимулирования устойчивой и циркулярной биоэкономики для создания экономических возможностей в сельском хозяйстве, а также достижения Целей устойчивого развития. В документе подчеркивается необходимость устойчивого управления биоресурсами путем сочетания традиционных знаний и инноваций, поддерживающих ресурсоэффективные и циркулярные экономические практики.

Особый акцент делается на укреплении позиций первичных производителей в цепочках создания стоимости. Коммюнике призывает к глобальным инвестициям и сотрудничеству в рамках и за пределами G20 для продвижения исследовательских и инновационных центров, совершенствования образования и обучения, а также передачи сельхозпроизводителям знаний через информационно-консультационные службы.

Шестой раздел посвящен цифровизации сельского хозяйства и внедрению технологий Четвертой промышленной революции. Отмечается трансформационный потенциал цифровых технологий для повышения устойчивости, продуктивности и рентабельности сельского хозяйства, обеспечения продовольственной безопасности и сокращения бедности. При этом значительной проблемой остается цифровой разрыв между различными регионами.

Участники MACS G20 подчеркивают важность расширения доступа к цифровым инструментам для фермеров и предпринимателей, что позволит оптимизировать практики для формирования устойчивых и жизнестойких сельскохозяйственных и продовольственных систем. Ключевую роль в этом процессе играет сотрудничество между различными заинтересованными сторонами: правительствами, международными организациями, университетами, исследовательскими институтами, технологическими компаниями, некоммерческими организациями, финансовыми институтами и организациями сельхозпроизводителей.

В коммюнике подчеркивается, что локально адаптированные цифровые решения, использующие искусственный интеллект (ИИ), Интернет вещей и большие данные, могут стать важными драйверами трансформации сельского хозяйства. При этом центральными аспектами этих усилий должны оставаться прозрачный и этичный ИИ, ответственное управление данными, а также уважение прав, связанных с данными и передачей технологий на добровольной и взаимно согласованной основе.

В заключительной части коммюнике подтверждается необходимость укрепления сельскохозяйственных исследований, стимулирования инноваций, развития сотрудничества и партнерств для устойчивой трансформации агропродовольственных систем. Признается ключевая роль сельхозпроизводителей и традиционных знаний в исследованиях и инновациях. Участники MACS G20 приглашают министров сельского хозяйства стран G20 поддерживать сформулированные в коммюнике рекомендации, а также оказывать содействие усилению центров знаний и инноваций, демонстрационных и испытательных площадок, включая «живые лаборатории» (Living Labs).

Особый акцент делается на важности свободной, независимой науки для поддержки сельского хозяйства и продовольственных систем, соблюдающей высочайшие стандарты этики и честности при критическом анализе существующих знаний и создании новых.

Литература

1. Meeting of Agricultural Chief Scientists of G20 states (MACS-G20). URL: <https://www.macs-g20.org/>
2. Land Reform and Rural Production in South Africa // Beyond Expropriation Without Compensation: Law, Land Reform and Redistributive Justice in South Africa. — Cambridge University Press, 2024. — Pp. 190–213.
3. Романенков В. А., Сиротенко О. Д., Беличенко М. В., Павлова В. Н. Расчёт урожайности зерновых культур и эффективности минеральных удобрений с учетом одновременного изменения климатических условий и плодородия почвы // Известия Самарского НЦ РАН, 2009. Т. 11. № 1–7. — С.1569–1574.
4. Collaboration Initiative Food Loss and Waste // Thünen University. URL: <https://www.thuenen.de/en/cross-institutional-projects/collaboration-initiative-food-loss-and-waste-launched-at-meeting-of-agricultural-chief-scientists-of-g20-macs-g20>

Сведения об авторах:

Ромашкин Роман Анатольевич, заместитель директора, к.э.н., доцент, Евразийский центр по продовольственной безопасности МГУ им. М.В. Ломоносова (ЕЦПБ); г. Москва; e-mail: ecfs.msu@gmail.com.

Цветнов Евгений Владимирович, к.б.н., в.н.с. кафедры радиоэкологии и экотоксикологии факультета почвоведения МГУ, с.н.с. ЕЦПБ МГУ; e-mail: tsvetnov@ecfs.msu.ru.

Книжная полка



Цели устойчивого развития в Российской Федерации. 2024: Крат. стат. сб. — М.: Росстат, 2024. — 105 с.

В сборнике представлена информация о показателях достижения Целей устойчивого развития в Российской Федерации, в том числе приведены данные в разрезе субъектов РФ. Относительные показатели публикуются с использованием численности населения, пересчитанной с учетом итогов ВПН-2020. Официальная статистическая информация, разрабатываемая Росстатом, публикуется без учета статинформации по ДНР, ЛНР, Запорожской и Херсонской областям. Отдельные показатели, к которым приведены соответствующие сноски, публикуются по данным Банка России, Казначейства России, Минцифры России, Минэкономразвития России, ФНС России, Росреестра и включают статинформацию с учетом данных по вышеназванным субъектам РФ. Наряду с данными Росстата использована информация Банка России, Казначейства

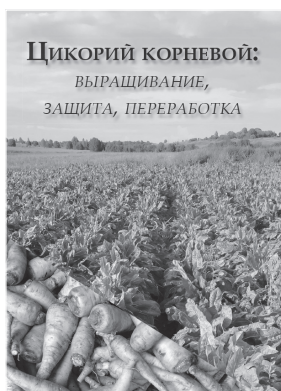
России, МВД России, Минздрава, Минобрнауки, Минприроды, Минпросвещения, Минсельхоза, Минстроя, Минтранса, Минфина, Минцифры, Минэкономразвития, МЧС России, Росавтодора, Росводресурсов, Росгидромета, Рослесхоза, Рособорнадзора, Роспотребнадзора, Росприроднадзора, Росреестра, Росрыболовства, ФНС России, ФСИН России, ТПП РФ и РСПП. В разделе международных сравнений приводятся данные по странам из баз данных ООН и др. международных организаций.



Белов С.В. Эндогенная активность Земли и биосоциальные процессы. — Вологда: Изд-во «Инфра-Инженерия», 2025. — 172 с.

Впервые системно рассмотрена взаимосвязь разнообразных проявлений эндогенной активности Земли и биосоциальных процессов. На основе анализа мировых баз данных сделан вывод об их сопряженности и акселерации и дан прогноз развития. Показана ведущая роль рифтогенеза в формировании биоты и социума. Обоснован главный парадокс экологии. Проанализированы вихревые структуры в гео- и биосферах и роль гравитации. Рассмотрены антропный принцип и время в геологическом контексте. Предложена гелиобио-геологическая концепция развития Земли. Рассказано о влиянии ближнего и дальнего космоса на преобразование гео- и биосфер и о судьбе учения В. И. Вернадского. Рассмотрены геолого-геофизические аспекты телепатического феномена. Дан прогноз ближайшего и отдаленного будущего.

Для широкого круга читателей, в том числе студентов геологических и экологических специальностей, а также системы дополнительного образования в сфере детско-юношеского геологического движения и др.



Цикорий корневой: выращивание, защита, переработка / С.Н. Еланский, А.А. Астайкина, Н.В. Верховцева, А.М. Козырева, Е.Н. Кубарев, А.В. Николаев, К. Партоев, Б.Н. Сатторов, И.В. Смирнова, Е.М. Чудинова, С.А. Шоба. — М.: РУДН, 2025. — 96 с.

Подготовлена коллективом авторов из Евразийского центра по продовольственной безопасности и др. подразделений МГУ, Ростовской опытной станции по цикорию (филиал ФНЦ овощеводства), Аграрно-технологического института РУДН, Института ботаники, физиологии и генетики растений НАН Таджикистана, Костромской ГСХА.

В монографии представлены результаты исследований авторов, проведенных в Ярославской и Костромской областях России и в Таджикистане, а также рассмотрены труды отечественных и зарубежных ученых. Детально описаны технологии выращивания и семеноводства цикория, защиты от болезней, вредителей и сорняков, хранения и переработки корнеплодов. Отмечается, что природные условия России позволяют рентабельно производить большие объемы цикория. Благодаря пластичности этой культуры высокие урожаи можно получать как в южных регионах, так и на землях севера нечернозёмной зоны РФ.

Издание рассчитано на специалистов хозяйств, студентов и сотрудников учебных и научных учреждений, а также на читателей, интересующихся возделыванием и переработкой цикория корневого.

NATURE

General Problems of Nature Management Volcanism, Radioresistance and the Evolution of Organisms

S.V. Belov, Dr.Sc. (Geology), OZGEO LLC, Moscow

Analysis of global volcanism indicates a general exponential growth during the Phanerozoic, which indicates the anti-entropic (negentropic) development of the Earth. Against this background, periodic bursts of volcanic activity occurred in the Cambrian, Devonian, Triassic and Neogene-Quaternary periods. During these periods, aromorphoses occur - key events in the development of organisms that occurred under conditions of oxygen deficiency and ended with the emergence of man. In the course of geological history, as the radiogenic energy of the Earth increased, the radioresistance of organisms in these geological periods consistently decreased, reaching a minimum characteristic of Homo sapience in the modern era. Thus, in the course of the evolution of organisms, two different processes create conditions for the activation and acceleration of mutations that led to the emergence and development of man. Paleontological evidence of accelerated evolution in the Cambrian, Devonian, Triassic and Neogene-Quaternary periods is the most frequent change of biostratigraphic layers (biota) during this period.

Keywords: volcanism, radioresistance, evolution of organisms.

Water Resources

Methodological Basis for Assessing the Geocological State of Sediments as an Indicator of Catchment Areas

*G.Yu. Tolkachev, Cand. Sc. (Geograph.), E.B. Dedova, Dr.Sc. (Agr.),
All-Russian Research Institute for Hydraulic Engineering and Land Reclamation*

ON the example of the comparative analysis of the water bodies of the Meshchera Lowland and Republic of Kalmykia, the features of heavy metal and arsenic contamination of the sediments of natural and man-made structures are noted.

Keywords: heavy metals, pollution, sediments, irrigation systems, water bodies, monitoring.

Calculation of the Pumping Station Operation Mode Lena—Muryu Main Water Pipeline in Central Yakutia

*A.M. Salva, Can.Sc. (Geology), N.A. Tsuranov, M.S. Ivanova,
Yakut Institute of Water Transport*

On October 30, 1998, the Lena—Myuryu main water pipeline was put into operation for water supply in rural areas of Central Yakutia. The article discusses pumping stations of the main water pipeline and calculates the operating mode of these stations for the period 2014-2017. It also shows the planned volume of pumping water from the Lena River, supplied by pumping stations to all operating reservoirs in the area.

Keywords: pumping station, main water pipeline, reservoir, volume of water, Central Yakutia.

Forest Resources

ESG and Voluntary Forest Certification According to the Forest Standard System

D.V. Yudaeva¹, T.I. Sorokina², T.O. Yanitskaya³, N.M. Shmatkov³, E.A. Shvarts⁴, Dr.Sc. (Geography)

¹ACRA RM LLC

²ACRA JSC

³Forest Certification System «Forest Etalon»

⁴Institute of Geography, Russian Academy of Sciences

The article highlights the results of comparing approaches and requirements of voluntary forest certification (using the Forest Etalon system as an example) with the taxonomy of green and adaptation projects of VEB.RF, as well as the indicators used in the methodologies of agencies assigning ESG ratings. The comparison revealed numerous intersections and showed what is common between these three different systems. Most of the intersections were identified in relation to the indicators of the methodologies for assigning ESG ratings. The share of intersections of the criteria of the Forest Etalon system with the taxonomy of green and adaptation projects of VEB.RF is significantly lower, but nevertheless significant. The authors recommend that rating agencies, as well as VEB.RF, which is a methodological center for financial instruments for sustainable development, reflect the similarities with voluntary forest certification systems in their products. This will create a more comprehensive assessment system in terms of achieving sustainable development goals.

Keywords: ESG rating, forest management, voluntary certification, Forest Etalon.

Analysis of Fire Hazard Dynamics Based on Weather Conditions in the Saratov Region in the Fire Hazard Period of 2020

*P.S. Khalin, M.A. Kozachenko, Can.Sc. (Agr.)
Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov*

The article is devoted to the analysis of the spatio-temporal dynamics of the fire hazard class according to weather conditions in various parts of the Saratov region during the fire hazard period of 2020. The results showed significant differences in the dynamics of fire danger between the regions. The southern part of the region was characterized by the most extreme values with long periods of maximum danger. The northern and eastern parts were distinguished by high variability of indicators with sharp transitions between hazard classes. The western zone demonstrated relative stability of high indicators. The results obtained confirm the need for a differentiated approach to fire risk assessment and can serve as a basis for developing adaptive strategies for forest fire protection.

Keywords: forest fires, fire hazard, meteorological conditions, Saratov region, spatio-temporal analysis, monitoring, forecasting, fire protection.

Climatic Resources

Sensitivity Functions of the Earth's Climatic System to Emissions of Anthropogenic Greenhouse Gases (Analytical Solution of the Century-Long Arrhenius's Problem)

V.V. Tetelmin, Dr.Sc. (Technical), Institute of Ecology of the Peoples' Friendship University of Russia

The problem formulated by the Swedish chemist Arrhenius at the end of the 19th century to determine the Earth system sensitivity to greenhouse gas emissions, including a doubling of the atmospheric carbon dioxide content, has been solved. Based on the analysis of the

thermodynamic parameters of the climatic system in the preindustrial and last glacial periods of the Earth's history, the functions of the radiation-equilibrium temperature dependence of global warming on the concentration of anthropogenic greenhouse gas emissions accumulated in the atmosphere are obtained. The volume concentration of 850 ppm-eq (mln–1) corresponding to the state of the atmosphere saturation with anthropogenic greenhouse gases is determined. This concentration determines the maximum possible radiation-equilibrium temperature of 8,7°C of global warming, which can be ensured on Earth by the anthropogenic greenhouse effect. A definition of the greenhouse effect is given as a flow of thermal energy of a certain power intercepted by greenhouse gases contained in the atmosphere.

Keywords: global warming, greenhouse gases, climatic system sensitivity, anthropogenic greenhouse effect, radiative equilibrium temperature.

Atmospheric Carbon Dioxide and Global Warming

V.V. Snakin, Prof.-Dr.Sc. (Biol.), Lomonosov Moscow State University (Museum of Earth Science),
Institute of Basic Biological Problems RAS, Russian Academy of Ecology

Discussion questions of the role of atmospheric carbon dioxide in the current global climate warming and the reasons for the growth of its concentration in the atmosphere are considered. It is shown that the guilt of anthropogenic growth of carbon dioxide concentration in the atmosphere, which is the basis for the fight against global warming, is not only unproven, but contradicts the basics of physical chemistry. The observed increase in atmospheric carbon dioxide concentration is the result, not the cause, of climate warming. Since atmospheric carbon dioxide is an important factor in photosynthesis, the fight against it is aimed at reducing the productive potential of the biosphere. All this casts doubt on the success of measures within the framework of decarbonisation of the economy.

Keywords: causes of global climate change; thermal pollution of the atmosphere, greenhouse effect; ocean-atmosphere system, bioproductivity of landscapes, decarbonisation of the economy.

Change in Average Annual Temperature in the Area of the Cities of Tyumen, Khanty-Mansiysk and Salekhard

V.I. Shpilman¹, Cand. Sc. (Geol.-Miner.), P.A. Stulov², P.V. Vladimirova¹
¹LLC «Shpilman Brothers», Tyumen

²V.I. Shpilman Research and Analytical Centre for the Rational Use of the Subsoil, Khanty-Mansiysk

The authors conducted a study of real changes of average annual temperature in three points of Western Siberia, the cities of Tyumen, Khanty-Mansiysk and Salekhard. Data of weather stations were taken as a basis. The average annual temperature was obtained by averaging of weather stations data. Trends of changes showed a significant increase of the temperature in the Arctic (twice as much as in Tyumen).

Keywords: average annual temperature, climate, weather stations, global warming, Arctic.

Environmental Protection

The Ecology of the Moscow Region Information System and its Importance in Improving the Effectiveness of Environmental Monitoring

S.S. Voronich¹, Can.Sc. (Technical), A.G. Khlopaev², D.A. Zajcev², I.R. Khusainov², N.S. Voronich²
¹GKU MO "Mosoblekomonitoring"

²FGBOU HE "Russian Biotechnological University"

The article presents the concept of developing the "Ecology of the Moscow Region" information system, designed for monitoring air quality and meteorological parameters in the Moscow region. The functional architecture of the system is described, including subsystems for data collection, processing, storage, and analysis. Key components are highlighted, such as integration with monitoring sensors, air quality index calculation, report generation, and interaction mechanisms with regional geographic information systems (RGIS). The necessity of monitoring process automation is justified to enhance the efficiency of environmental control and rapid response to pollution incidents. The proposed solutions aim to provide government authorities, organizations, and the public with up-to-date environmental information in real time.

Keywords: Moscow region, environmental monitoring, atmospheric air, data transmission, analysis, information system.

Differentiated Analysis of Chemical Forms of Chromium in Aquatic Ecosystems

N.N. Roeva, Prof.-Dr.Sc. (Chemistry), Zaitseva I.A., Buzdakov D.R., Zhiganov N.A., Russian University of Biotechnology, Moscow

The article presents the results of the determination of chemical forms of chromium in the natural waters of the Kaluga and Moscow regions. The atomic absorption method with flame-free atomization is used as the basic method of analysis. The detection limit of chromium was 0.005 Cr/ml. A scheme for the separation of 3 chemical forms of chromium (inorganic and organic compounds of hexavalent and trivalent chromium) has been developed.

Keywords: aquatic ecosystems, chromium, chemical forms, differentiated analysis, atomic absorption method with flame atomization.

AGRICULTURAL RESOURCES AND FOOD SECURITY

Food Security

Food security in the context of climate change and the fundamentals of state agrarian policy

D.M. Khomiakov, Can.Sc. (Biol.), Prof.-Dr.Sc. (Technical), Faculty of Soil Science, Lomonosov Moscow State University

On 10.03.2025, the President of the Russian Federation signed a decree on the expansion of the Food Security Doctrine in terms of maintaining the stability of global food markets. The agro-industrial complex faces strategic objectives: to increase the production of agricultural products by 25%, export growth by 1.5 times compared to 2021, and to ensure technological independence. These areas are set out in the Decree of the President of the Russian Federation on national goals until 2030 and should be implemented taking into account commitments to achieve carbon neutrality. To do this, an effective state agrarian policy should be formed that takes into account: climate change trends, the availability of innovative technologies, the need to increase the sustainability of agricultural production, ensuring a reduction in greenhouse gas emissions, the possibility of attracting financing for climate projects, the preservation and reproduction of soil fertility of agricultural land, etc.

Keywords: climate change, agrarian policy, agriculture, food security, sustainable development, soil resources, agricultural lands.

Features of Agricultural Land Monitoring Systems in Russia and Abroad

O.V. Kamenetskaya¹, Can.Sc. (Economics), U.A. Shergaziev², Prof.-Dr.Sc. (Agr.), R.A. Romashkin¹, Can.Sc. (Economics)

¹Eurasian Center for Food Security of Lomonosov Moscow State University

²Kyrgyz National Agrarian University named after K.I. Scriabin

Under modern conditions, development of agricultural land monitoring system, including an assessment of the content of mineral and organic fertilizers, is becoming particularly relevant to ensure Russia's food security, as well as in connection with the goals set by the country's leadership to increase production and export of agricultural products. Changes in the nutrient balance over time provide important insight into how efficiently agricultural resources are used in relation to the products produced, as well as an indicator of the risk of environmental pollution and potential soil nutrient deficiencies. The positive experience of agricultural lands monitoring in foreign countries can be used in Russian practice in order to improve the land management system.

Keywords: soil monitoring, soil survey, agricultural land, soil, macronutrients, mineral and organic fertilizers, nutrient balance.

Effect of Heterocytic Cyanobacteria on Sorghum Growth

A.V. Muravyova^{1,3}, I.A. Kutuzova², Can.Sc. (Biol.), S.N. Elansky², Dr.Sc. (Biol.)

¹Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia

²Biological Faculty, Lomonosov Moscow State University

³K.A. Timiryazev Institute of Plant Physiology, Russian Academy of Sciences

Cyanobacteria are capable of fixing nitrogen from the air and releasing biologically active substances. Strains isolated from samples of cyanobacterial mats (strains A1A and A1B of the species *Nostoc commune*) and from moss plants (A105 of the species *Trichormus variabilis*) from a rocky substrate in Antarctica (near Progress Station) were analyzed. Strain N5-1 (*Trichormus* sp.) was isolated from the cephalodium of a lichen of the genus *Stereocaulon*, VSBD Tr (*Trichormus variabilis*) – from the cephalodium of a lichen of the genus *Peltigera* in the south of the Murmansk region. The effect of cyanobacteria on the growth of sorghum plants (variety Pishchevov 3) in washed sand without adding nitrogen at different temperatures and irrigation conditions, including stressful ones, was studied. Under optimal temperature and humidity conditions, the best results were observed in the variant with the strain A1A isolated in Antarctica. Under extreme conditions (high daytime temperatures, drought), the variants with the strain isolated from a lichen of the genus *Stereocaulon* (N5-1) grew better than others. It was shown that strains of cyanobacteria specially selected for different environmental conditions can provide an increase in growth and yield of the crop.

Keywords: sorghum, cyanobacteria, biological fertilizers, nitrogen fixation, growth regulators.

Soils

The Speed and Acceleration of Soil Processes (the First and Second Derivatives of Soil Formation)

O.A. Makarov^{1,2,3}, Dr.Sc. (Biol.), V.V. Demidov¹, Dr.Sc. (Biol.), D.R. Abdulkhanova¹, E.N. Esafova¹

¹Faculty of Soil Science, Lomonosov Moscow State University

²Training and Experimental Soil Ecological Center of the MSU

³The MSU Eurasian Center for Food Security

It is shown that the change in soil condition over time within one stage of their multi-stage evolution is usually described by a logistic equation. Differentiating the state function S from time t allows us to get an idea of the rate dS/dt and acceleration d^2S/dt^2 of soil formation processes. The inflection points on the soil condition graph become the extreme points on the graphs of derivatives of soil formation. It is noted that dissipative processes prevail in the "first half", and antidissipative processes prevail in the "second half" of each stage of evolution. This "predominance" is not homogeneous at all: at first it occurs at the start of the acceleration of soil formation, and then at a period of decreasing stagnation.

Keywords: speed and acceleration of soil formation, "lithomatrix", "pedomatrix", dissipative and antidissipative processes.

Soils and Population Health

T.A. Zubkova, Dr.Sc. (Biology), Soil Science Department, Lomonosov Moscow State University

The role of soil in the formation of population health includes two aspects with opposite directions: under conditions of soil pollution, environmental risks to human health increase, while highly fertile soils, on the contrary, contribute to the economic, social and demographic development of society.

Keywords: soils and population morbidity, soils and socio-economic indicators of society, environmental risks, soil pollution.

Agrolandscapes

Quality Indicators and Cadastral Value of Soils of Agricultural Landscapes of Western Siberia (Using the Novosibirsk and Omsk Regions as an Example)

S.A. Korsikova, P.M. Sapozhnikov, Prof.-Dr.Sci (Agr.), Lomonosov Moscow State University

The values of normative yield, productivity score, and specific indicators of cadastral value for soils of agricultural landscapes of the Novosibirsk and Omsk regions were calculated. The median values of normative yield in the Omsk region are 3-32% higher than those in the Novosibirsk region. The productivity score of soils in the regions ranges from 2 to 54. The maximum specific indicators of cadastral value were found for podzolized chernozems (8.89 rubles/m²) in the Novosibirsk region and leached chernozems in the Omsk region (7.96 rubles/m²). The minimum indicators (less than 0.5 rubles/m²) correspond to a range of soils from gley-podzolic to solonetz. The average weighted cadastral value of soils in the Omsk and Novosibirsk regions is 2.00 rubles/m² and 2.81 rubles/m², respectively; the level of cadastral value of the subjects under consideration can be called low.

Keywords: VISKHAGI scales, agroclimatic potential, standard yield, soil valuation, specific indicators of cadastral value.

Agroecology

Pollution of Roadside Soils with Heavy Metals in the Kaliningrad Region

T.N. Troyan¹, Can.Sc. (Biology), D.D. Samoylova^{1,2}, O.M. Bedareva¹, Dr.Sc. (Biology),

¹Kaliningrad State Technical University

²Kaliningrad Agrochemical Service Center

The article examines the problems of contamination of sod-podzolic sandy loam soils with heavy metals of hazard classes I and II (copper, lead, zinc, arsenic, mercury, nickel, cadmium) adjacent to highways with different traffic intensity. The emphasis is placed on the identification of elements in the soils of roadside territories, which are the primary "receiving field" of pollutants entering the environment during the operation of motor vehicles and road surfaces: when tires are erased, zinc, cadmium, and lead are released; when brake pads

wear out, copper and zinc; lead and nickel enter the air environment with exhaust gases; deicing reagents may contain cadmium. The result is expressed in numerical values of the gross content of heavy metals in soils at a depth of 0–10 cm and subsequent comparative analysis with maximum permissible concentrations (SanPiN 1.2.3685-21).

Keywords: heavy metals, soil pollution, sod-podzolic soils, roadside area.

Approaches to Assessing Environmental Risks on Postagrogenic Lands

S.G. Paramonov, Can.Sc. (Biology), St. Petersburg State Chemical-Pharmaceutical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Russian Ecological Academy

The problem of abandoned agricultural lands is considered: environmental risks arising as a result of post-agrogenic succession. At the same time, the risks associated with abandoned agricultural lands arise not only for the direct owner of the land plot, but also extend to neighboring plots. The aim of the work is to determine approaches to assessing environmental risks arising as a result of post-agrogenic transformation of unused agricultural lands in the taiga zone of the North-West of the Russian Federation. Tasks: identifying environmental risks of these lands, dividing them into categories and determining methods for assessing environmental risks. An analysis of risk factors was performed. The main directions of assessing environmental risks depending on the subject for these categories of lands were identified.

Keywords: fallow lands, post-agrogenic succession, risk, environmental risks, risk assessment.

Agroeconomics

Land Degradation and Socio-Economic Sustainability of Territories

E.V. Tsvetnov^{1,2}, Can. Sc. (Biol.), O.A. Makarov^{1,2,3}, Dr. Sc. (Biol.), D.R. Abdulkhanova¹, N.A. Marakhova^{1,2}, Y.R. Ermiyev¹

¹*Faculty of Soil Science, Lomonosov Moscow State University*

²*The MSU Eurasian Center for Food Security*

³*Training and Experimental Soil Ecological Center of the MSU*

It is shown that land degradation can affect various aspects of sustainable rural development, primarily social and economic. When analyzing the relationship between the demographic situation and the problems of land degradation, the main attention should be paid to the indicator of the absolute population. Among the indicators of the economic block that are affected by land degradation, it is necessary to single out the basic indicator of economic growth — the gross regional product per capita. Four possible states of the socio-economic block of land degradation assessment have been considered and discussed, the analysis of which allows us to conclude that if social and economic problems are not solved, the responsible party will not invest the vast majority of environmental projects.

Keywords: land degradation, sustainable development of territories, social block, economic block.

Anniversaries

To the 125th Anniversary of the Birth of the First Head of the Department of General Agriculture at Lomonosov Moscow State University

P.N. Balabko¹, Dr.Sc. (Biology), N.G. Rybalsky², Dr.Sc. (Biology), T.I. Khusnetdinova¹, Cand. Sc. (Biology), N.P. Matekina^{1,2}

¹*Faculty of Soil Science, Lomonosov Moscow State University*

²*The MSU Eurasian Center for Food Security*

The article is dedicated to the 125th anniversary of the birth of a scientist in the field of agricultural sciences and a talented teacher, the first head of the Department of General Soil Science at Moscow State University named after M.V. Lomonosov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor — Vasily Timofeevich Makarov (28.07.1900–23.01.1978). The article examines the most important periods of his life and career.

Keywords: Department of General Agriculture, fertility, cultivation, increasing productivity, crop rotation.

On the 80th Anniversary of Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences S.A. Shoba

April 21 marks the 80th anniversary of the famous Russian scientist and teacher, prominent soil scientist and ecologist, president of the Faculty of Soil Science at Lomonosov Moscow State University, head of the Department of Soil Geography, director of the Eurasian Center for Food Security at Moscow State University, Doctor of Biological Sciences, professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences Sergei Alekseevich Shoba.

On the 75th Anniversary of Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences A.A. Tishkov

On March 31, Chief Researcher, Head of the Biogeography Laboratory of the Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Geographical Sciences, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences Arkady Aleksandrovich Tishkov turned 75.

On the 75th Anniversary of Prof. V.V. Snakin

On April 24, Doctor of Biological Sciences, Professor, Chief Researcher of the Institute of Fundamental Problems of Biology of the Russian Academy of Sciences, Head of the Sector of the Museum of Earth Sciences of Moscow State University named after M.V. Lomonosov Valery Viktorovich Snakin turned 75.

On the 75th Anniversary of Prof. M.M. Cherepansky

June 24 marked the 75th anniversary of Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor of the V.M. Shvets Hydrogeology Department of the S. Ordzhonikidze Russian State Geological Prospecting University, Mikhail Mikhailovich Cherepansky.

Calendar of Events

Outcomes of the G20 Chief Agricultural Scientists Meeting

R.A. Romashkin¹, Can.Sc. (Economics), E.V. Tsvetnov^{1,2}, Can.Sc. (Biology)

¹*The MSU Eurasian Center for Food Security*

²*The Faculty of Soil Science, Lomonosov Moscow State University*

This paper presents the results of the 14th annual meeting of the G20 chief agricultural scientists (MACS G20), held May 26–28, 2025 in South Africa (Polokwane, Limpopo province). This event was the first meeting of such format on the African continent and brought together delegations from more than 20 countries, as well as international organizations. The paper considers six key thematic areas of the meeting: transformation of agri-food systems, stewardship of biodiversity and genetic resources, soil health, climate-smart agriculture, resilient agriculture-based bioeconomy and digital agriculture. Particular attention is paid to the analysis of the adopted final communiqué, which formulates strategic recommendations for the G20 countries on the sustainable development of the agri-food sector.

Keywords: MACS G20, agriculture, agri-food systems, sustainable development, climate change.