

Экология

УДК 528.88 632.4

ВЕЙНИК НАЗЕМНЫЙ (*CALAMAGROSTIS EPIGEIOS* Roth.) КАК ИНДИКАТОР ЗАРАСТАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ В НЕЧЕРНОЗЕМНОЙ ЗОНЕ РОССИИ*

Вера Петровна Самсонова¹, Марина Иосифовна Кондрашкина²,
Дмитрий Геннадьевич Кротов³

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, ф-т почвоведения
119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, стр. 12

¹ – д.б.н., доцент каф. общего земледелия и агроэкологии; e-mail: vkbun@mail.ru

² – к.б.н., доцент каф. общего земледелия и агроэкологии; e-mail: kondra_mar@mail.ru

ФГОУ ВПО «Брянская государственная сельскохозяйственная академия»
243365, Брянская область, Выгоничский район, п. Кокино, ул. Советская, д. 24

³ – к.с.-х.н., доцент

Показано, что классическая схема перехода пашни в залежь может нарушаться. Присутствие вейника наземного в соседних ценозах обуславливает его появление на образующихся залежах, где он на 3–4 года становится доминантом, вытесняя пырей ползучий. Показано, что вероятностные методы классификации изображений Landsat8 с использованием тренировочных участков позволяют выделять территории распространения вейника и тем самым диагностировать залежные земли.

Ключевые слова: вейник наземный, *Calamagrostis epigeios* Roth., индикация залежей, Landsat8, вероятностное картографирование.

Произошедшая в 90-е годы прошлого столетия перестройка привела к разрушению прежнего хозяйственного уклада страны. Несформированность новых хозяйственных отношений привела в частности к забрасыванию обширных площадей пахотных земель в Европейской части России. Без дополнительных удобрений, в отсутствие постоянных сельскохозяйственных обработок почвенный покров постепенно возвращается в состояние, соответствующее зональным почвам [1, 2]. Это сопровождается как положительными (улучшение почвенной структуры, восстановление микробиологических свойств) [3], так и отрицательными эффектами (изменение гумусового профиля, подкисление почвы, уменьшение содержания подвижных питательных элементов и т.п.) [4].

Диагностика и мониторинг залежных территорий представляет собой важную задачу, для решения которой могут быть использованы методы дистанционного зондирования [5, 6]. Следует принимать во внимание, что точность выделения объектов зависит от размеров пиксела снимка. Чем меньше размер пиксела, тем точнее и качественнее изображение. В настоящее время имеется несколько спутников, поставляющих коммерческие

снимки сверхвысокого разрешения с размерами пиксела 2×2, 6×6 м и др. При этом бесплатные космоснимки аппаратов Landsat с размером пиксела 30×30 м, распространяемые геологической службой США, при надлежащей обработке могут служить альтернативой коммерческим снимкам.

Индикация залежей на космических снимках затрудняется тем, что на начальных стадиях они слабо отличаются от лугов, а на более поздних – от кустарниковой и лесной растительности [5, 6, 7]. Поэтому поиск надежных индикаторов залежей актуален. Цель настоящей работы – проверка возможности использования зарослей вейника для индикации залежных земель на свободно распространяемых космических снимках Landsat 8.

Особенности зарастания сельскохозяйственных угодий

В зависимости от культур, которые возделывались на угодье, сукцессия на забрасываемых полях происходит разными путями. После уборки однолетних культур процесс зарастания пашни может проходить по классической схеме: стадия малолетних сорняков – бурьянистая стадия – корневищная и корнеотпрысковая – пырейный перелог – стадия рыхлокустовых злаков – стадия плотнокустовых злаков. По этой схеме процесс демутиации пашни проходит за 15 лет [8–11].

В лесной и лесостепной зонах из-за присутствия древесных и некоторых травянистых видов

* Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 13-04-00480)

процесс сукцессии несколько видоизменяется. Начиная со второго года перелога в сообщество малолетних сорняков внедряются многолетние виды, в том числе и вейник наземный, который с третьего года становится доминантом травянистого сообщества, вытесняя существовавшие ранее на этом угодье малолетние и многолетние травянистые растения. Одновременно на зарастающих пашнях появляется молодая поросль древесных видов – ива, береза, ольха, дуб [12, 13].

Агрессивная жизненная стратегия вейника наземного обусловлена экологическими особенностями этого вида. Вейник наземный – это длиннокорневищный ползучий многолетний злак. Размножается преимущественно вегетативно. Семенное размножение происходит на открытых территориях – бывших пашнях, вырубках, гарях [14–16]. Растения, выросшие из семян, способны давать вегетативные ползучие побеги на второй год жизни. Новые особи образуются только из почек, расположенных на концах подземных корневищ, загибающихся вверх. Из почек формируются корневища и надземные побеги. На корневищах образуются молодые растения, которые в свою очередь распространяются дальше, захватывая новые территории. За вегетационный период молодое растение может занять территорию до 1 м² [14]. В конечном итоге образуется колония особей вейника, каждый отдельный индивид которой может давать новые побеги до 7–8 лет. При отмирании отдельных кустов они не перегнивают, а остаются на общем корневище, через которое осуществляется связь со всей колонией (рис. 1).

За время вегетации колония вейника образует на поверхности почвы толстый плотный слой отмерших высохших стеблей, через который могут пробиться только проростки самого вейника. Другие травянистые виды существуют только в тех местах, где по каким-то причинам вейник выпал. Происходящее со временем уплотнение почвы, которое вызывает угнетение, а в конечном счете и гибель других многолетних корнеотпрысковых и корневищных видов, в том числе пырея, не влияет на жизнеспособность колонии вейника. Вероятно, этим можно объяснить отсутствие на вейниковых залежах пырейной стадии зарастания, т.к. последний проигрывает вейнику в конкурентной борьбе.

В первые годы жизни вейник достигает высоты до 1,5 м. Со временем, перерастая вейник, молодые деревья начинают притенять последний. Со временем ситуация складывается таким образом, что после смыкания крон деревьев недостаток освещенности испытывает вейник. Постепенно он угнетается и остается на небольших освещенных территориях.

Таким образом, попадая на пашню, либо внедряясь в сеяные травы в первые постагроген-



Рис. 1. Строение подземной части вейника наземного. 1 – мочковатые корни с узлом кущения; 2 – почка на конце подземного корневища; 3 – горизонтальное ползучее корневище.

ные годы, вейник нарушает последовательность стадий образования залежи. Вытесняя и угнетая малолетние и многолетние травянистые виды, в том числе и пырей, вейник на долгие годы становится доминантом на залежи. В конце лета-начале осени вейниковые луга приобретают характерный желто-бурый оттенок, позволяющий различить их даже на больших расстояниях.

Методика. Для оценки распространения вейника на территории Брянской области (33.12, 34.52 E, 52.85, 53.57N) был использован бесплатный космический снимок Landsat8 от 19 сентября 2014 г. (рис. 2 А). Облачность нулевая. Размер пиксела 30×30 м. Основные сельскохозяйственные культуры были уже убраны, поля частично вспаханы.

Обработка данных проводилась в пакете пакете IDRISI SELVA [17]. При обработке использовались каналы 1–7, характеристика которых приведена в табл. 1. Первичное дешифрирование снимка проводилось путем синтеза различных каналов. Одно из удачных сочетаний (каналы 6–5–2), позволяет отчетливо идентифицировать лесную растительность, вспаханные поля, во-

1. Характеристики каналов Landsat8, использованных для анализа распространения вейника наземного

Номер канала	Длина волны, микрон
1	0,434–0,451
2	0,452–0,512
3	0,533–0,590
4	0,636–0,676
5	0,851–0, 879
6	1,566–1,651
7	2,107–2,294

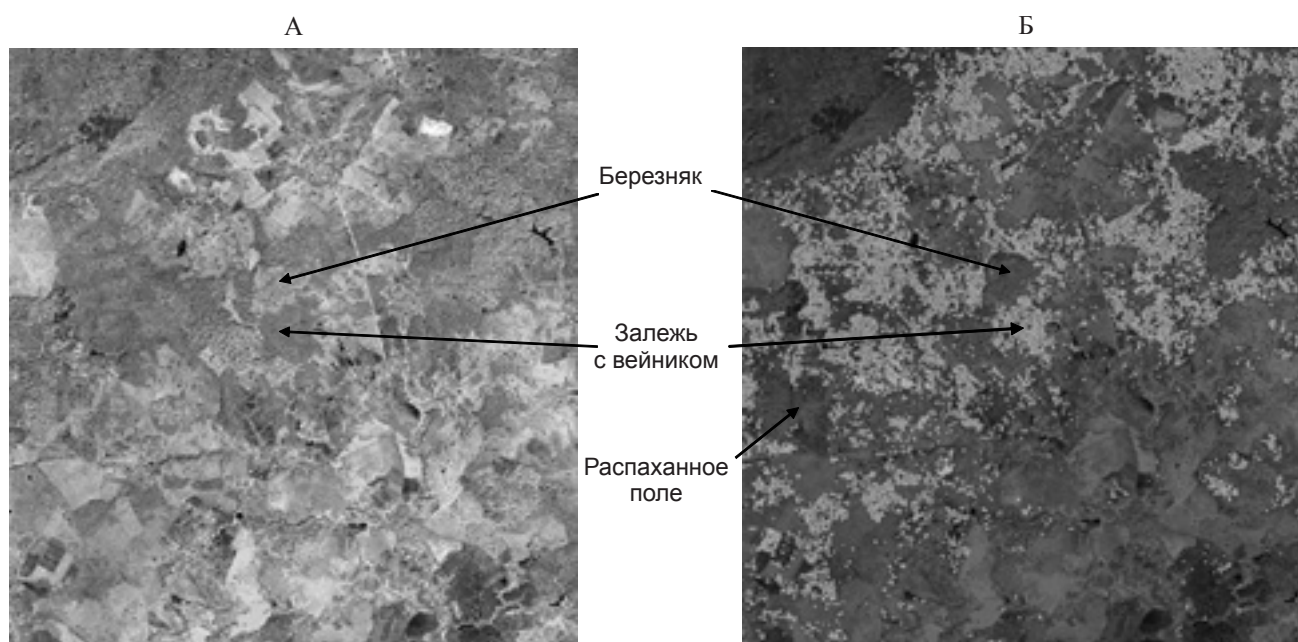


Рис. 2. Сопоставление участка снимка Landsat8 (LC81800232014262LGN00) и индикаторного слоя вероятности присутствия вейника наземного:

А. Синтез каналов 6-5-2.

Б. Наложённый слой вероятности присутствия ($p=0.80$) вейника наземного.

дные объекты. Однако остается немало областей, дешифрирование которых затруднительно. К ним относятся участки вблизи лесов, отдельные территории сельскохозяйственных угодий и т.п. Неоднородность окраски этих территорий позволяет предположить, что на этих участках идет зарастание угодий, где березовый подрост, вейник и другие травы образуют пеструю мозаику. Поэтому индикация тех или иных видов растений на космических снимках малоэффективна без наземного выделения тренировочных участков, которые в дальнейшем выступают как эталоны.

Наземное обследование тренировочных (обучающих) площадок для индикации распространения вейника наземного были проведено 2 сентября 2015 г. Эти участки затем были оконтурены на картах Google Earth (съемка 2015 г.) и их координаты импортированы в среду IDRISI. На участках заложены разрезы и отобраны пробы почвы для определения агрохимических показателей.

В пакете IDRISI имеется несколько программ, позволяющих проводить классификацию данных дистанционного зондирования. Классификация рассматриваемой территории проведена при помощи алгоритма Махаланобиса [18], позволяющего оценить вероятности нахождения вейника в каждом из пикселей и построить картограмму этих вероятностей. В качестве порогового значения вероятности для выделения мест с присутствием вейника было взято значение $p=0,8$.

Результаты и обсуждение. Почвенные показатели под вейниковыми залежами колеблются

в достаточно широком диапазоне. Содержание гумуса изменяется от очень низкого до низкого, рН от слабокислого до нейтрального, содержание подвижного калия – от низкого до очень высокого (табл. 2). Общим в трех разрезах под вейниковыми залежами оказывается высокое содержание подвижного фосфора в пахотном горизонте. В случае дерново-подзолистых почв резкое уменьшение его при переходе от пахотного к подпахотному горизонту свидетельствует о том, что ранее на этой территории была пашня и вносилось много фосфорных удобрений. На серых лесных почвах высокий уровень фосфатов сохраняется до глубины 50 см, что свидетельствует о богатстве почвообразующей породы.

Наложение индикаторного слоя вероятностей присутствия вейника наземного на космический снимок (рис. 2 Б) показывает, что:

1) вейник не обнаруживается на обрабатываемых полях, если только на поле не присутствуют необрабатываемые западины. Если западины присутствуют, то вейник, как правило, приурочен к ним. Поэтому западины могут рассматриваться как «затравки» для зарастания территории при забрасывании земель;

2) на снимке вейник образует вытянутые цепочки вдоль границ полей и вдоль дорог, что совпадает с визуальным его обнаружением при движении вдоль трасс;

3) отдельные пиксели с присутствием вейника могут быть обнаружены и в лесных массивах, что соответствует полянам и возможным гарям [13, 15].

2. Свойства почв на вейниковых залежах

Горизонт, глубина, см	pH	Органическое вещество, %	Фосфор	Калий
			мг/кг	
Дерново-слабоподзоленная супесчаная на моренных супесях				
A1 2–28	6,18	1,14	304	49
A2B 28–58	6,48	0,08	70	38
B1 58–70	3,96	0,18	17	78
B2 70–120	4,40	0,19	56	63
Светло-серая лесная на покровных суглинках				
A _{пах} 5–10	5,37	1,83	339	372
A _{пах} 20–25	5,50	1,59	242	135
A2B 40–45	4,80	0,28	262	91
B 50–55	4,83	0,17	94	31
Серая лесная на лессовидных суглинках				
A _{пах} 5–10	7,03	3,25	550	48
A _{пах} 30–35	6,97	2,78	518	32
AB 40–45	6,12	0,78	119	56
AB 55–60	4,95	0,52	129	65

4) наибольшие площади с вейником обнаруживаются на северо-западе Брянской области, на территориях распространения дерново-подзолистых почв, что является отражением того факта, что в первую очередь забрасываются бедные малоплодородные почвы. В зоне серых лесных почв вейник распространяется вдоль дорог и на пойменных участках.

В южной части нечерноземной зоны России вейник наземный появляется на пахотных угодьях после того, как они не обрабатывались несколько лет. Это позволяет отделить травы 1–2–3 года пользования от территории, которую с уверенностью можно называть залежью. Диагностика таких участков на космических снимках позволит проводить раннее обнаружение забрасывания земель.

В отличие от часто используемых алгоритмов обработки космических снимков, алгоритм Махаланобиса дает возможность оценить вероятности присутствия объекта на данной территории. Остается открытым вопрос, какой уровень вероятности должен быть выбран для представления результатов. Полная неопределенность соответствует вероятности $p=0,5$, точное соответствие объектов достигается при $p=1$. Однако, вследствие размытости характеристик как тренировочных, так и тестируемых объектов, точное соответствие будет достигаться очень редко. Уровень $p=0,8-0,9$ вполне приемлем для диагностики возможного расположения объектов.

Отсутствие сплошных контуров, точечность диагностируемых участков могут быть связаны как с мозаичностью размещения куртин вейника в пространстве, так и с ошибочно классифицируемыми кластерами. Размер пиксела снимков

Landsat (30×30 м) все-таки достаточно велик, поэтому внутрипиксельная изменчивость также может сказываться на конечных результатах.

Заключение. Таким образом, применение метода Махаланобиса для классификации снимков Landsat8 с использованием наземных тренировочных площадок позволяет проводить индикацию присутствия вейника наземного. Это растение может использоваться для выделения ранних стадий зарастания – в диапазоне от 3–4 лет (выход вейника в доминанту ценоза) до 12–15 лет (зарастание залежи древесной растительностью).

Литература:

1. Люри Д.И., Горячкин С.В., Караваева Н.А., Денисенко Е.А., Нефедова Т.Г. Динамика сельскохозяйственных земель России в XX веке и постагрогенное восстановление растительности и почв. – М.: Геос, 2010. – 416 с.
2. Батудаев А.П., Уланов А.К. Изменение гумусного состояния легкосуглинистой каштановой почвы при сельскохозяйственном использовании // Агрохимия. – 2005. – № 2. – С. 21–26.
3. Сазонов С.Н., Манучарова Н.А., Горленко М.В., Умаров М.М. Естественное восстановление микробиологических свойств лерново-подзолистой почвы в условиях залежи // Почвоведение. – 2005. – № 5. – С. 575–582.
4. Литвинович А.В., Павлова О.Ю., Дричко В.Ф., Чернов Д.В., Фокина А.К. Изменение кислотно-основных свойств окультуренной дерново-подзолистой песчаной почвы в зависимости от срока нахождения в залежи // Почвоведение. – 2005. – № 10. – С. 1232–1240.
5. Барталёв С.А. Метод выявления используемых пахотных земель по данным дистанционного зондирования со спутников / Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов. –

- М.: ООО «Азбука-2000», 2006. – Вып. 3. – Т. 2. – С. 271–280.
6. Терехин Э.А. Анализ спектральных свойств сельскохозяйственной растительности Белгородской области по спутниковым данным MODIS // Научные ведомости Белгородского гос. ун-та. Сер.: естественные науки. – 2013. – № 10 (153), вып. 23. – С. 150–156.
7. Самсонова В.П., Кондрашкина М.И., Кротов Д.Г., Чичиева О.А. Распознавание зарастающих территорий на снимках Landsat8 // Проблемы агрохимии и экологии. – 2015. – № 1. – С. 53–57.
8. Вильямс В.Р. Залежи // Статья: Сельскохозяйственная энциклопедия. Т. 2. – М.: Гос. изд. с.-х. литературы, 1951. – С. 51–52.
9. Трутнев А. Перелог и залежи и их освоение. – Лениздат, 1948. – с. 46.
10. Филатова Т.Д. Восстановительная динамика восточноевропейских луговых степей (на примере Центрально-Черноземного биосферного заповедника им. проф. В.В. Алёхина) // Автореферат дисс. ... канд. геогр. наук. – М., 2005. – 24 с.
11. Абаимов В.Ф., Ледовский Н.В., Ходячих И.Н. Эколого-фитоценологические группировки растительности залежей при их демутации // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2014. – № 3 (15). – С. 18–21.
12. Агроэкологическое состояние и перспективы использования земель России, выбывших из активного сельскохозяйственного оборота [Под ред. акад. Г.А. Романенко]. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2008. – 63 с.
13. Евстигнеев О.И., Воеводин П.В. Формирование лесной растительности на лугах на примере Нероссо-Деснянского Полесья // Бюл. Моск. Об-ва испытателей природы. Отд. Биол. – 2013. – Т. 118. – Вып. 4. – С. 64–70.
14. Уланова Н.Г. Вейник наземный / Биологическая флора Московской области. – М.: Изд-во МГУ, Аргус, 1995. – Вып. 10. – С. 4–19.
15. Уланова Н.Г., Белова И.Н., Логофет Д.О. О конкуренции среди популяций с дискретной структурой: матричная модель динамики популяций вейника и березы, растущих совместно // Журнал общей биологии. – 2008. – Т. 69. – № 6. – С. 441–457.
16. Новикова Л.А., Полозова М.О. Восстановление растительности на залежах «Островцовской лесостепи» // Вестник ОГУ. – № 6. – 2009. – С. 286–290.
17. Hengl T.A. Practical Guide to Geostatistical Mapping of Environmental Variables. – Luxemburg: Preprint EUR 22904 EN – Joint Research Centre. – Institute for Environment and Sustainability, 2007. – 143 pp.
18. Eastman J.R. IDRISI Kilimanjaro. Guide to GIS and Image Processing. 2003. URL: <http://www.clarklabs.org>. Дата обращения: 23.03.2016.

Samsonova V.P., Kondrashkina M.I., Krotov D.G.

GROUND CALAMAGROSTIS (CALAMAGROSTIS EPIGEIOS ROTH.) AS AN INDICATOR OF FALLOW AREAS IN NON-CHERNOZEM ZONE OF RUSSIA

It is shown that the classical scheme of the transition of arable land into fallow can be broken. The presence of Calamagrostis in the adjacent terrestrial cenoses determines its appearance on the formed deposits, where it for 3–4 years becomes dominant, forcing out the couch grass. The probabilistic classification methods of Landsat8 imagery using training sites allow to indicate the spreading of Calamagrostis, and thus to diagnose fallow land.

Keywords: *ground calamagrostis, Calamagrostis epigeios Roth., fallow land, Landsat 8, the probabilistic mapping.*

УДК 631.459.2

СОДЕРЖАНИЕ АЗОТА В НАРУШЕННЫХ И НЕНАРУШЕННЫХ ЧЕРНОЗЕМАХ И ПРОДУКТАХ ТВЕРДОГО И ЖИДКОГО СТОКА РАСЧЛЕНЕННОЙ ТЕРРИТОРИИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Анатолий Алексеевич Танасиенко¹, Ольга Петровна Якутина²,
Александр Сергеевич Чумбаев³

*Институт почвоведения и агрохимии СО РАН
630090, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, д. 8/2*

¹ – д.б.н., в.н.с.; e-mail: tanas40@ngs.ru

² – к.б.н., с.н.с.; e-mail: oyakutina@yandex.ru

³ – к.б.н. зав. лаб.; e-mail: chas30@mail.ru

Установлено, что целинные черноземы Западной Сибири характеризуются высоким потенциальным плодородием, содержание общего азота в 0–20 см слое целинных незэродированных черноземов Предсалаирья варьирует в пределах 0,51–0,88%, Кузнецкой котловины – 0,51–0,64%. За 130-летний период сельскохозяйственного использования земель содержание азота снизилось на 0,1–0,16%. Эрозионные процессы привели к сокращению содержания азота в пахотном слое среднеэродированных почв в 1,5, а в сильноэродированных – в 2 раза, в сравнении с незэродированными почвами. Абсолютные эрозионные потери азота за период интенсивного антропогенного воздействия на почвенный покров склонов достигли 6,6 т/га для слабоэродированных черноземов, 12,2 т/га – среднеэродированных и 15,5 т/га – сильноэродированных. За этот же период лугово-черноземные почвы аккумулировали более 14 т/га общего азота.

Ключевые слова: *черноземы, водная эрозия, азот, талые воды, поверхностный сток, продукты твердого стока.*

Проблема потерь элементов питания растений в составе почвенно-органического вещества под воздействием эрозии является одной из ключевых в современной фундаментальной и прикладной науке о почве [1–3]. В России среди факторов, ограничивающих продуктивность сельскохозяйственных культур, особое место занимает водная эрозия, распространенная практически во всех природных зонах. Около 40% пашни страны расположено на склонах крутизной более 1°; по состоянию на 01.01.2002 из 123,9 млн. га общей площади пашни 41 млн. га является эрозионно опасными, включая более 24 млн. га уже эродированных земель [4]. Ежегодно на каждом гектаре пашни потери органического вещества превышают 1 т. С 1992 г. в земледелии страны складывается отрицательный баланс NPK [4]. Основными причинами являются истощение почвы без компенсации выноса питательных элементов, нерациональное землепользование, несоблюдение противоэрозионных мероприятий на территориях с сильным расчленением рельефа. В этих условиях наблюдается снижение плодородия на эродированных почвах в сравнении с полнопрофильными (неэродированными). Эрозионные потери азота в европейской части России составляют на сильноосмытых выщелоченных черноземах 2000, типичных черноземах – 1400 кг/га [1]. Эродированные почвы вследствие

потерь органического вещества, элементов питания, утяжеления гранулометрического состава, а также снижения запасов влаги, необходимых для формирования урожая, значительно уступают по урожайности незэродированным аналогам. Урожайи сельскохозяйственных культур снижаются на слабоэродированных почвах на 10–20, на среднеэродированных почвах – на 30–40, на сильноэродированных – на 50–80% по сравнению с полнопрофильными ненарушенными почвами [4–5].

На территории Западной Сибири хозяйственная деятельность человека, особенно активно проявившаяся в последние 60–80 лет и выразившаяся в массовом сведении лесных массивов, распашке целинных земель, усилила остепенность территории, изменила не только устойчивость естественных ландшафтов и почвенного покрова, но и снизила их эрозионную стойкость. Кроме того, значительные запасы снега зимой, наличие ледяной прослойки в профиле почвы, краткосрочный и интенсивный характер снеготаяния ежегодно способствуют формированию значительного поверхностного стока талых вод и выносу твердой фазы почвы, что приводит к большим потерям органического вещества в сравнении с европейской частью России. В настоящее время в Кузнецкой котловине из 800 тыс. га пашни каждый четвертый гектар эродирован в слабой и

средней степени. Потери органического вещества и элементов питания растений, за счет истощения почвы с одной стороны, и в результате эрозионных процессов с другой стороны, увеличились. Согласно исследованиям [6–7] на территории Западной Сибири на удобренных вариантах почв ежегодный вынос азота надземной частью сельскохозяйственных культур составляет 55–90 кг/га. Поступление же азота с пожнивными остатками и корневой системой однолетних культур не превышает 30–50 кг/га [8–9]. Принимая во внимание, что азот является элементом первого минимума для почв Сибири, убыль его запасов в результате истощения почвы и эрозионных потерь критическим образом сказывается на устойчивости сельскохозяйственных экосистем и производстве сельскохозяйственной продукции.

Цель настоящей работы – охарактеризовать содержание и запасы азота в нарушенных и ненарушенных черноземах расчлененной территории Западной Сибири и оценить потери азота с жидкой и твердой составляющей стока талых вод.

Методика. Исследования проводились (рис. 1) в пределах Предалтайской лесостепной провинции, на территории Новосибирского Предсалаирья и Кузнецкой котловины (Кемеровская область). Предсалаирье представляет собой денудационно-аккумулятивную сильно расчлененную равнину. Здесь широко распространены антропогенно-деградационные лесостепные ландшафты, почвенный покров характеризуется невысокой комплексностью, преобладающими почвами являются полнопрофильные, в различной степени эродированные черноземы выщелоченные и оподзоленные средне- и тяжелосуглинистого гранулометрического состава. Почвообразующими породами являются лессовидные суглинки.

Развитию эрозионных процессов в Предсалаирье способствует очень высокое горизонтальное (1,0–1,2 км/км²) и вертикальное (75–100 м) расчленение территории. В итоге водораздельные пространства занимают только около 20 % территории. Примерно 1/3 пашни расположено на склонах крутизной 1–3° – это преимущественно приводораздельные части склонов. Но больше всего пашни (около 40%) расположено на склонах крутизной 3–6°, что свидетельствует о высокой опасности для проявления поверхностного стока вод различного генезиса. В среднем, около 10 % всей пашни занимают склоны крутизной 6–9° и около 5 % – крутизной более 9° [10]. На данной территории самыми крутыми являются склоны южной ориентации, в то время как холодные склоны (северные) имеют более пологое падение и, следовательно, меньше подвержены эрозионным процессам. Предсалаирье диагностируется как потенциально очень сильно опасная в эрозионном отношении часть Новосибирской области.

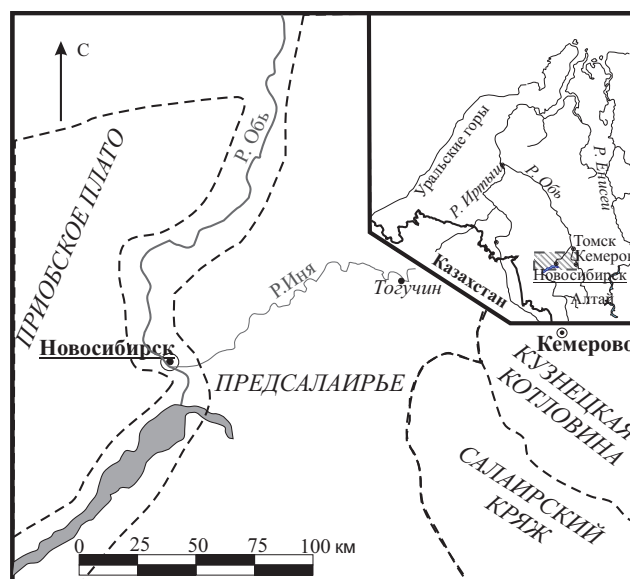


Рис. 1. Карта-схема геоморфологического районирования Предалтайской лесостепной провинции. Пунктирными линиями обозначены границы геоморфологических районов.

Общая площадь черноземов Кузнецкой котловины составляет более 900 тыс. га. Среди них наибольшее значение для сельского хозяйства имеют черноземы выщелоченные среднесильные тучные тяжелосуглинистые вследствие высокого исходного плодородия. Почвообразующие породы, на которых формируются черноземы, представлены покровными лессовидными суглинками, занимающими почти все элементы катены. Их мощность непостоянна: наибольшая в понижениях междуречий (до 20–25 м) и минимальная (иногда меньше 1 м) на выступах палеозойских и других коренных пород [11]. Рельеф возвышенной денудационной равнины Кузнецкой котловины носит отпечаток довольно интенсивных движений, определяющих энергию речной и плоскостной эрозии. Абсолютная высота водоразделов колеблется в пределах 300–400 м, а отдельные холмы достигают высоты 500–550 м. Для всей территории равнины характерна глубокая расчлененность, достигающая 150–200 м, причем главный врез свойственен не только для рек, но и балок, глубина вреза которых достигает 75–100 м. Горизонтальное расчленение так же, как и вертикальное, очень велико и, как правило, превышает 1 км/км² площади. Лишь на западной окраине равнины густота расчленения территории балками и реками снижается до 0,6–0,8 км/км². На остальной же территории величина горизонтального расчленения колеблется от 1,0 до 2,6 км/км², а в некоторых местах достигает 3,3–3,5 км/км². Приводораздельные склоны имеют крутизну от 1 до 9°, а прибалочные – 10–25° и

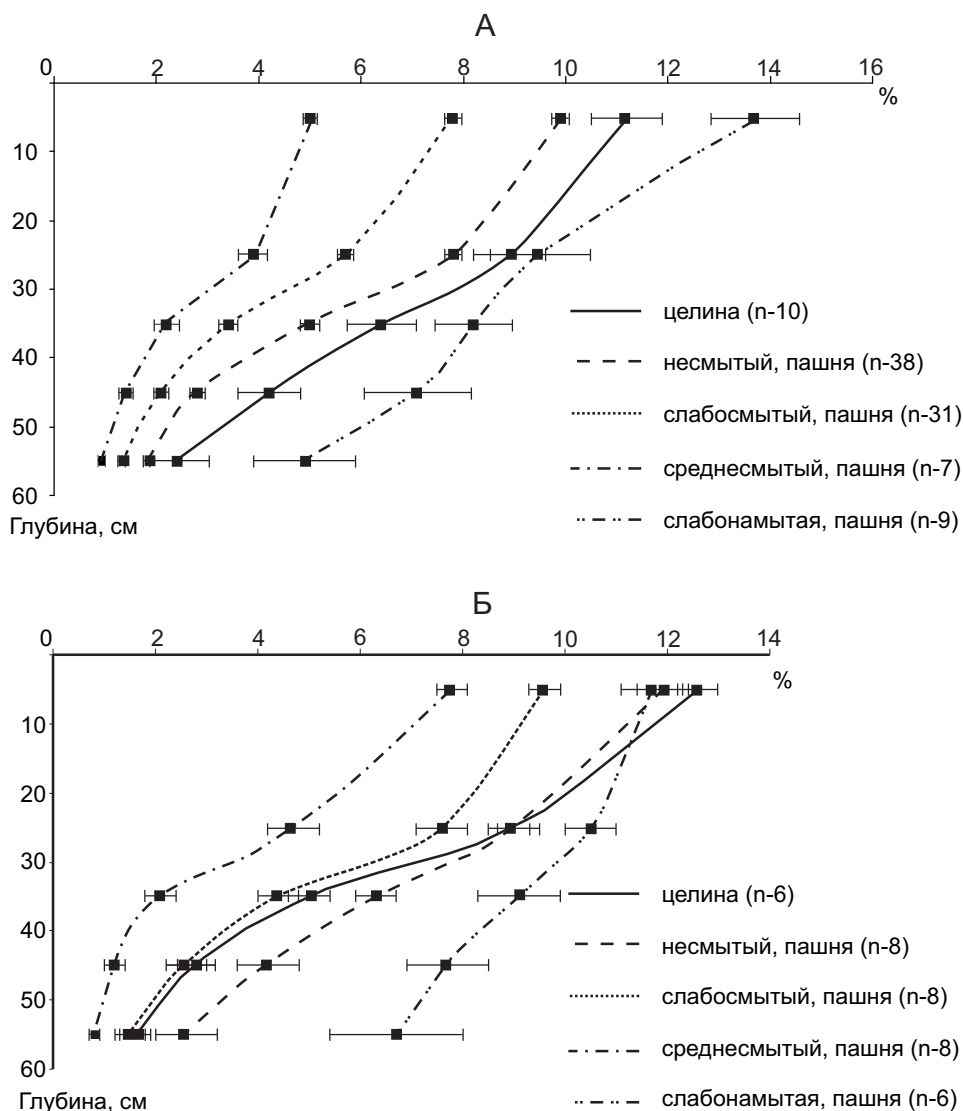


Рис. 2. Послойное распределение содержания гумуса в черноземах разной степени эродированности и слабонамытой лугово-черноземной почве Предсалаирья (А) и Кузнецкой котловины (Б).

выше. В период освоения земель этого района в пашню вовлекались наиболее ровные участки, а так как таковых здесь оказалось мало, под сельскохозяйственные нужды стали использовать земли склоновых территорий. Так, на склонах крутизной до 1° расположено от 8 до 25% пашни, примерно 1/3 всей пашни расположена на склонах крутизной 1–3°. Остальная пашня (около 55%) – это склоны крутизной 3–9°. В расчлененной части котловины пашня занимает немногим более 1 млн. га, из которых 15% эродировано в слабой и средней степени.

Мощность гумусового горизонта (А) черноземов Предалтайской лесостепной провинции варьирует в пределах 44–51 см, а горизонта А+АВ – 56–62 см, что, согласно «Классификации...» [12], позволяет отнести эти почвы к среднемощным. Характерная особенность гумусовых горизонтов (А и АВ) – чрезмерная языковатость, служащая

фациальным признаком черноземных почв Западной Сибири. Варьирование мощности гумусового слоя в пределах расчлененной лесостепи Западной Сибири незначительно ($V < 10\%$) и поэтому имеется возможность использовать в качестве эталона незэродированных черноземов почвы пологих приводораздельных пространств.

Наиболее характерный и устойчивый признак черноземов, подверженных эрозионным процессам – уменьшение мощности гумусовых горизонтов. Слабозэродированные почвы занимают верхнюю часть катены и характеризуются пониженной (на 30%) мощностью горизонта А. Почвенный профиль состоит из полного набора генетических горизонтов и подгоризонтов – А, АВ, В1 и В2. Среднеэродированные черноземы распространены в средней части склона, мощность их гумусового (А) горизонта снижена более чем на 50%. Поэтому пахотный слой этих почв пред-

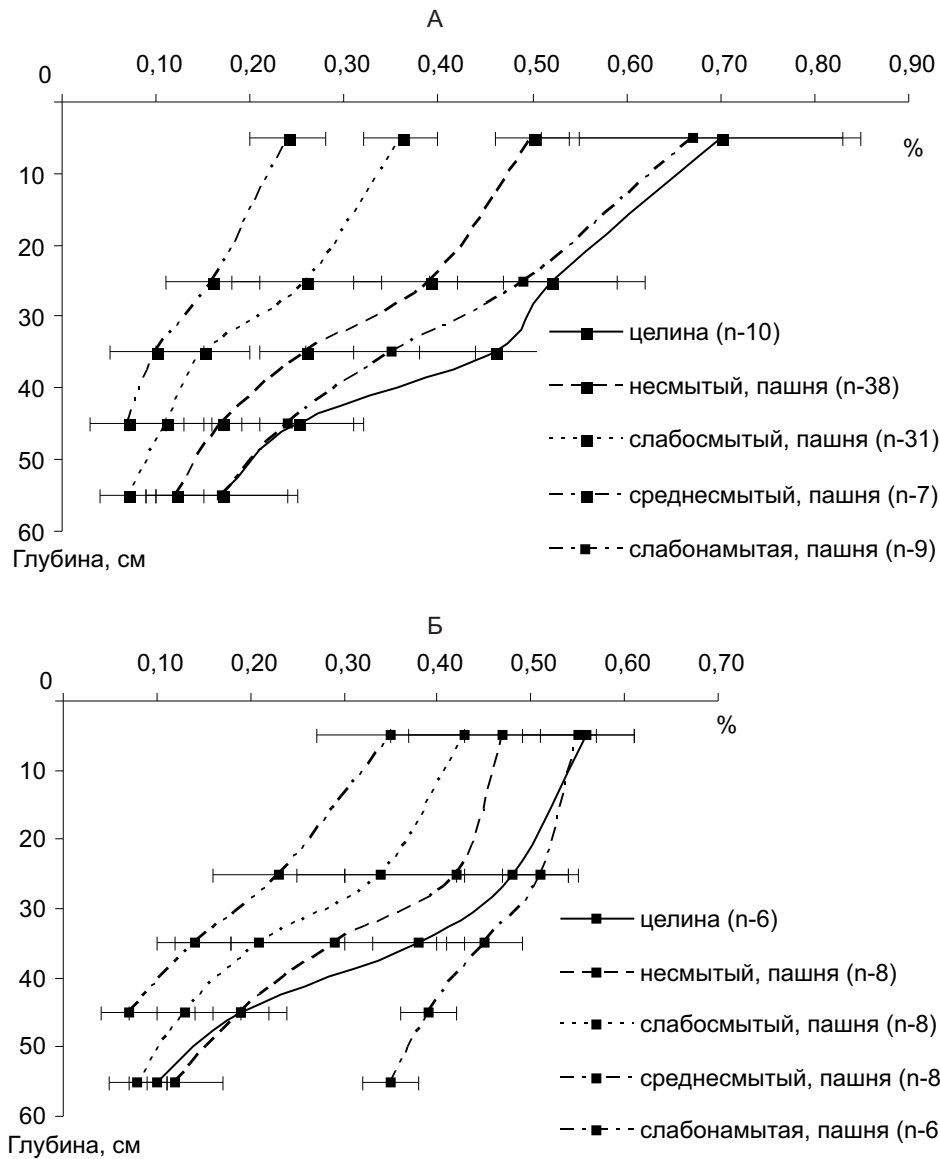


Рис. 3. Послойное распределение содержания азота в черноземах разной степени эродированности и слабонамытой лугово-черноземной почве Предсалаирья (А) и Кузнецкой котловины (Б).

ставлен собственно горизонтом А, к которому частично припахивается и переходный горизонт АВ. Сильноэродированные черноземы встречаются в нижней, наиболее крутой, части склона и не имеют обособленных горизонтов А, АВ и В. Пахотный слой данных почв представлен смесью вышеназванных горизонтов, к которым довольно часто припахивается и иллювиально-карбонатный (Вк).

Поверхностный сток талых вод и смыв ими твердой фазы черноземов изучался на 10 краткосрочных и долговременных стоковых площадках длиной 30–60 м и шириной 10–15 м, элементарных водосборах площадью 2–10 га (5 площадок в Кузнецкой котловине и Предсалаирье соответственно). Стоковые площадки или стокоприемные устройства закладывались с осени после отвальной вспашки. Отбор почвенных образцов осуществлялся по генетическим горизонтам и по-

слоино из почвенных разрезов и конусов выноса в двукратной повторности. Количество почвенных разрезов, образцов снега, твердого и жидкого стока указано в таблицах. Образцы снега отбирались в марте, талые воды – в апреле в течение всего срока снеготаяния, каждые сутки с интервалом в 1–2 ч, материал конуса выноса – непосредственно после снеготаяния.

Содержание гумуса определяли методом Тюрина [13], валового азота в почве и твердом стоке – по Кьельдалю [13], в снеге и талых водах – методом капиллярного электрофореза на приборе Agilent G7100A. Метод капиллярного электрофореза основан на разделении заряженных частиц в капиллярах за счет разницы в их электрофоретических подвижностях в буферных электролитах [14].

Результаты и обсуждение. Содержание гумуса в слое 0–20 см целинных черноземов выщело-

1. Содержание азота в снеге и талых водах, мигрирующих по поверхности слабоэродированных черноземов. Предсалаирье, 2013–2014 гг.

Фаза поверхностного стока	n	Статистические параметры			
		Lim, мг/л	M±m, мг/л	δ, мг/л	V, %
Снег	6	0,66–0,95	0,8083±0,047	0,1162	14
Начало стока	10	1,70–3,01	2,486±0,191	0,605	24
Интенсивный сток	18	0,67–2,96	1,9683±0,205	0,8705	44
Конец стока	7	2,17–3,10	2,8228±0,123	0,3233	12

Здесь и далее n – число повторностей; Lim – пределы варьирования; M – среднееарифметическое, m – стандартное отклонение выборочного среднего; δ – среднее квадратическое отклонение; V – коэффициент вариации.

ченых Предсалаирья варьирует от 9,5 до 15,9, Кузнецкой котловины 11,6–14,8% соответственно (рис. 2). В этом слое старопашотных почв этих территорий наблюдается тенденция к снижению содержания гумуса на 1,5–1,9 %. Количество гумуса в пахотном слое слабо-, средне- и сильноэродированных черноземов существенно ниже его содержания в неэродированных почвах. Содержание гумуса в подпахотном слое неэродированных и слабоэродированных почв различается незначительно, что связано с тем, что у этих почв пахотным слоем является горизонт А с содержанием гумуса 10–11 % или смесь горизонта А и горизонта АВ также с довольно высоким содержанием гумуса. Резкая убыль гумуса в подпахотном слое средне- и сильноэродированных почв (рис.2) связана с включением в этот слой более глубоких горизонтов почвы, содержащих мало органического вещества. Выше было отмечено, что сильноэродированные почвы не имеют обособленных генетических горизонтов, а пахотный слой их состоит из смеси горизонтов А+АВ+В1. Подпахотным слоем в большинстве случаев служит горизонт Ск. Поэтому в этих почвах наблюдается весьма резкое падение содержания гумуса от пахотного слоя к подпахотному. Здесь гумуса в пахотном слое в 2, а в подпахотном – в 3–3,5 раза меньше, чем в соответствующих горизонтах неэродированных черноземов. В намытых лугово-черноземных почвах количество гумуса в пахотном слое равно или несколько превышает его содержание в целинной почве.

Содержание общего азота в 0–20 см слое целинных неэродированных черноземов Предсалаирья варьирует от 0,51 до 0,88% (рис. 3). По профилю его содержание уменьшается достаточно плавно до глубины 40 см, далее наблюдается выраженное снижение до 0,15% в слое 50–60 см. В Кузнецкой котловине распределение азота по профилю аналогично вышеописанному, хотя в слое 0–20 см оно несколько ниже, чем в Предсалаирье (0,51–0,64%).

Вовлечение в сельскохозяйственную обработку целинных черноземов изменило верхние горизонты почв. В результате вспашки произошло перемешивание почвенной массы, что сделало верхнюю

часть гумусового горизонта бывших целинных черноземов однородной. Известно, что благодаря обработке улучшается аэрация верхней части профиля почв, повышается водопроницаемость почв, а процесс минерализации превалирует над гумификацией. Содержание азота в верхней части гумусового горизонта длительно распаханых почв оказывается меньшим, чем в том же слое почв под естественной растительностью. Так, в старопашотных кузнецких черноземах в пахотном слое содержание этого элемента примерно на 0,1, а в Предсалаирье на 0,16 % меньше, чем в целинных почвах. Можно предположить, что ежегодная потеря азота в результате «выпахивания» почвы незначительна и составляет менее 0,001 %.

Распределение общего азота в эродированных почвах (рис. 3) повторяет ту же закономерность, что и распределение гумуса, т.е. с глубиной и возрастом степени эродированности наблюдается выраженное снижение содержания этого элемента. В пахотном слое среднеэродированных почв количество азота в 1,5, а в сильноэродированных – в 2 раза ниже, чем в том же слое неэродированных черноземов. Содержание валового азота в подпахотном слое (30–40 см) средне- и сильноэродированных черноземов соответственно в 2 и 3 раза ниже, чем в неэродированных полнопрофильных почвах. В слое 50–60 см средне- и сильноэродированных черноземов количество этого элемента не превышает 0,05 %, в то время как в неэродированных почвах аналогичное содержание азота характерно для слоя 90–100 см. Слабонамытые лугово-черноземные почвы характеризуются максимальным содержанием азота, как в пахотном, так и подпахотном слоях. В этих почвах на глубине 100 см содержание азота составляет 0,15 % при довольно высоком содержании гумуса (3 %), в то время как в неэродированных почвах на этой же глубине содержится всего 0,05 % валового азота и только 0,6 % гумуса, а в эродированных почвах на такой глубине содержание азота находится в пределах ошибки определения [15]. В целом, в Предсалаирье, содержание азота во всех изученных слоях почв, различной степени эродированности и

2. Содержание азота в пахотном слое слабоэродированных черноземов и продуктах твердого стока талых вод.

Слой почвы, фаза поверхностного стока	Статистические параметры				
	n	Lim, %	M±m, %	δ, %	V, %
Предсалаирье					
Черноземы выщелоченные среднегумусные тяжелосуглинистые					
Слой почвы 0–20 см	31	0,23–0,44	0,36±0,007	0,04	11
Начало стока	10	0,39–0,64	0,53±0,03	0,08	16
Интенсивный сток	18	0,27–0,66	0,41±0,03	0,12	30
Конец стока	7	0,60–0,88	0,70±0,04	0,10	14
Кузнецкая котловина					
Черноземы выщелоченные тучные тяжелосуглинистые					
Слой почвы 0–20 см	8	0,30–0,54	0,43±0,03	0,09	20
Начало стока	8	0,46–0,78	0,57±0,04	0,11	19
Интенсивный сток	12	0,21–0,48	0,40±0,03	0,10	24
Конец стока	6	0,50–0,57	0,53±0,01	0,02	5

намытости выше, чем в аналогичных почвах Кузнецкой котловины.

Поскольку максимальное содержание биогенных элементов, служащих источником питания для возделываемых культур, сосредоточено в верхней части гумусового горизонта, поверхностный сток талых и ливневых вод транспортирует их в значительном количестве вместе с твердой фазой черноземов. Следовательно, суммарные потери элементов питания растений, в частности азота, увеличиваются пропорционально смыву твердой фазы черноземов. В малоснежные годы твердый сток варьирует в пределах 150–6138 кг/га, при средней величине 2431±757; нормально снежные годы – 828–28250 кг/га, при средней величине 7260±1970; многоснежные – 580–28765, при средней величине 6758±1512.

Анализ содержания азота в снеге и жидком стоке показывает, что в многоснежные гидрологические годы содержание его в талых водах в 2–2,5 раза больше, чем в снежном покрове (табл. 1). Содержание азота в талых водах варьирует в зависимости от фазы снеготаяния, увеличиваясь к концу стока. Содержание азота в талых водах незначительно, однако если учесть, что с поверхности черноземов выщелоченных Предсалаирья в среднем ежегодно стекает 850 м³ талых вод, потери этого элемента достигают почти 2 кг/га.

Содержание азота в продуктах твердого стока (табл. 2) составляет в среднем, от 0,4 до 0,7 %, варьируя по фазам снеготаяния. Начало и конец стока характеризуются повышенными значениями. Несмотря на то, что среднее содержание азота в слое 0–20 см черноземов Предсалаирья ниже, чем в аналогичном слое в Кузнецкой котловине, содержание азота в твердом стоке в Предсалаирье выше, особенно в конце снеготаяния.

Существенное отчуждение азота с твердой фазой почвы приводит к резкому снижению его количества в профиле эродированных черноземов. Концентрация азота в продуктах твердого стока примерно на 0,1–0,2 % больше, чем в пахотном слое слабоэродированных черноземов. Проведенные расчеты показывают, что в этих почвах ежегодное отчуждение азота с продуктами твердого стока в зависимости от снежности гидрологического года варьирует в пределах 12–36 кг/га. Располагая данными об эталонной мощности гумусового слоя черноземов, толщине эродированной почвы, соответствующей каждой степени эродированности либо намытости, объемной массе, а также содержании азота в том или ином генетическом горизонте, можно определить запасы азота в эродированных черноземах Западной Сибири (табл. 3).

Благодаря высокому содержанию азота в небольшом по мощности гумусовом горизонте (А), запасы этого элемента в целинных выщелоченных черноземах Предсалаирья и Кузнецкой котловины составляют 22,5 т/га и приблизительно равны запасам азота в черноземах европейской части России [15–17]. Около 80% запасов азота сосредоточено в горизонте А. Хотя мощность переходного (АВ) и иллювиального (В) горизонтов различна (иллювиальный горизонт черноземов выщелоченных примерно в 2 раза мощнее переходного), в них аккумулированы примерно одинаковые запасы азота – по 10 % от общих запасов. В результате длительной антропогенной нагрузки на черноземы водораздельных пространств запасы азота в горизонте А снизились на 19 % в сравнении с целиной. Следовательно, в результате «выпахивания» ежегодные потери азота неэродированными черноземами пашни равны 33 кг/га. Слабоэродированные черноземы Западной Си-

3. Мощность генетических горизонтов черноземов Западной Сибири и запасы в них азота

Степень эродированности, намытости, угодье	Горизонт	n	Статистические параметры		Запасы азота, т/га
			Lim, см	M±m, см	
Предсалаирье					
Черноземы выщелоченные среднемощные среднегумусные тяжелосуглинистые					
Неэродированные, целина	A	31	38–48	40±0,8	22,5
	A+AB	31	46–64	53±1,0	25,9
Неэродированные, пашня	A	96	31–50	42±0,4	17,7
	A+AB	96	46–75	60±0,7	20,8
Слабоэродированные, пашня	A	119	20–27	24±0,2	11,6
	A+AB	119	28–40	35±0,3	14,8
Среднеэродированные, пашня	A+AB	13	25–33	29±0,6	7,1
Лугово-черноземные почвы					
Слабонамытые, пашня	I+A	54	46–62	53±0,8	26,2
	I+A+AB	54	63–88	73±0,9	28,0
Кузнецкая котловина					
Черноземы выщелоченные среднемощные тучные тяжелосуглинистые					
Неэродированные, целина	A	6	41–55	48±2,3	22,6
	A+AB	6	56–66	60±1,7	24,2
Неэродированные, пашня	A	137	42–59	48±0,5	18,8
	A+AB	137	53–74	61±0,5	20,9
Слабоэродированные, пашня	A	215	25–42	33±0,3	11,8
	A+AB	215	38–53	45±0,4	14,3
Среднеэродированные, пашня	A	111	18–25	23±0,2	7,6
	A+AB	111	26–38	33±0,3	10,2
Сильноэродированные, пашня	A+AB+B1	33	23–50	39±0,3	5,4
Лугово-черноземные почвы					
Слабонамытые, пашня	I+A	151	64–96	73±0,8	30,9
	I+A+AB	151	73–104	87±0,8	35,2

бири за этот же временной отрезок в сравнении с неэродированными почвами (целиной) потеряли около 50 % запасенного азота, а ежегодное отчуждение этого элемента в результате «выпахивания» и эрозионных потерь достигают уже 83 кг/га. При этом следует учесть, что примерно 25 кг/га – это ежегодные потери азота с продуктами твердого стока талых вод. Чрезвычайно большие потери валового азота характерны для черноземов выщелоченных среднеэродированных (ежегодно около 120 кг/га). Однако среднеэродированные черноземы в Предсалаирье и Кузнецкой котловине распространены на относительно небольших площадях (18 и 29 тыс. га соответственно), их вклад в снижение потенциального плодородия пашни этих двух геоморфологических районов относительно небольшой. Максимальные потери валового азота свойственны сильноэродированным черноземам. Почвы этой категории встречаются только в Кузнецкой котловине, они занимают небольшую площадь (менее 4 тыс. га) и, как правило, исключаются из пашни.

Чрезвычайно большие запасы азота наблюдаются в слабонамытых лугово-черноземных почвах, где запасы этого элемента на 29 % больше, чем в целинных черноземах и на 62 % больше в

сравнении с неэродированной пашней. Это связано с аккумуляцией продуктов твердого стока с повышенным содержанием азота.

Заключение. Западносибирские целинные черноземы выщелоченные тучные тяжелосуглинистые характеризуются высоким потенциальным плодородием. Содержание гумуса в слое 0–20 см целинных черноземов выщелоченных Предсалаирья варьирует от 9,5 до 15,9, Кузнецкой котловины – 11,6–14,8% соответственно. В этом же слое старопашотных почв наблюдается тенденция к снижению содержания гумуса на 1,5–1,9 %. Количество гумуса в пахотном слое слабо-, средне- и сильноэродированных черноземов существенно ниже его содержания в неэродированных почвах.

Содержание общего азота в 20-сантиметровом слое целинных неэродированных черноземов Предсалаирья варьирует в пределах 0,51–0,88%, Кузнецкой котловины – 0,51–0,64%; содержание азота по профилю почвы снижается постепенно. Длительное хозяйственное использование почв отрицательно сказывается на содержании азота в пахотном слое черноземов. Так, в кузнецких черноземах содержание этого элемента снизилось на 0,1, в Предсалаирье – на 0,16 %, в сравнении с целинными почвами. В эродированных почвах наблюдается

более резкое снижение содержания азота по профилю, чем в неэродированных аналогах. В пахотном слое среднеэродированных почв количество азота в 1,5, а в сильноэродированных – в 2 раза ниже, чем в том же слое неэродированных черноземов.

Продукты твердого стока талых вод характеризуются высоким содержанием азота. Ежегодное отчуждение из пахотного слоя почв талыми водами тонкодисперсного почвенного материала приводит к существенному снижению в этом слое азота, что отрицательно сказывается на запасах этого элемента. Абсолютные эрозийные потери азота за период интенсивного антропогенного воздействия на почвенный покров склонов достигли 6,6 т/га для слабоэродированных черноземов, 12,2 т/га – для среднеэродированных и 15,5 т/га – для сильноэродированных. За этот же период лугово-черноземные почвы аккумулировали более 14 т/га запасов азота.

Без соблюдения противоэрозийных мероприятий при таких темпах отчуждения твердой фазы почвы на склонах в течение века можно ожидать потери около 10 см почвы, что соответствует 25 % мощности гумусового горизонта А. Значительная масса почвенного материала, аккумулированного в нижней трети склона, ведет к формированию намытых лугово-черноземных почв с менее благоприятным гидротермическим режимом, чем в почвах вышележащих позиций склона.

Литература:

1. Юркин С.Н., Макаров Н.Б., Пименов Е.А. Потери фосфора и калия их почвы и удобрений с поверхностным стоком // Агрохимия. – 1978. – № 11. – С. 133–141.
2. Lal R. Influence of soil erosion on carbon dynamics in the world / Soil erosion and carbon dynamics. – CRC PRESS-TAYLOR & FRANCIS CROUP, 2006. – 376 PP.
3. Polykov V.O., Lal R. Soil organic matter and CO₂

emission as affected by water erosion on field runoff plots // Geoderma. – 2008. – Vol. 143. – P. 216–222.

4. Гогмачадзе Г.Д. Деградация почв: причины, следствия, пути снижения и ликвидация. – М.: Изд-во Московского ун-та, 2011. – С. 5–27.
5. Каиштанов А.Н., Явтушенко В.Е. Агроэкология почв склонов. – М.: Колос, 1997. – 239 с.
6. Петербургский А.В., Аникст Д.М. Вынос питательных веществ зерновыми культурами в разных почвенно-климатических зонах // Агрохимия. – 1973. – № 2. – С. 144–150.
7. Юркин С.Н. Методические вопросы балансовых работ в земледелии // Биологический баланс в севообороте и земледелии СССР / Бюл. ВИУА. – 1974. – № 20. – С. 12–37.
8. Олифер В.А. Вынос азота и калия с урожаем яровой пшеницы в условиях Приобской лесостепи // Сибирский вестн. с.-х. науки. – 1974. – № 2. – С. 42–47.
9. Трофимов С.С. Экология почв и почвенные ресурсы Кемеровской области. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1975. – 300 с.
10. Орлов А.Д. Водная эрозия почв Новосибирского Приобья. – Новосибирск: Наука, 1971. – 176 с.
11. Хмелев В.А., Танасиенко А.А. Черноземы Кузнецкой котловины. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1983. – 256 с.
12. Классификация и диагностика почв СССР. – М.: Колос, 1977. – 223 с.
13. Агрохимические методы исследования почв // Отв. ред. А.В. Соколов. – М.: Наука, 1975. – 656 с.
14. Mayrhofer K., Zemann A.J., Schnell E., Bonn G.K. Capillaryelec-trophoresis and contactless conductivity detection of ions in narrow inner diameter capillaries// Anal. Chem. – 1999. – V. 71. – P. 3828–3833.
15. Болотина Н.И. Запасы гумуса и азота в основных почвах СССР // Почвоведение. – 1947. – № 5. – С. 277–286.
16. Болотина Н.И. Запасы гумуса и азота в основных почвах СССР // Агрохимическая характеристика почв. – М.: Наука, 1976. – С. 187–259.
17. Тюрин И.В. Плодородие почв и проблемы азота в почвоведении и земледелии // Почвоведение. – 1956. – № 3. – С. 1–17.

Tanasienko A.A., Yakutina O.P., Chumbaev A.S.

CONTENT OF NITROGEN IN ERODED AND NON-ERODED CHERNOZEMS AND PRODUCTS OF SEDIMENTS AND RUNOFF OF DESSECTED TERRITORY OF WEST SIBERIA

It is found, that virgin chernozems of West Siberia are characterized by high potential of fertility, nitrogen content in the layer 0–20 cm of virgin non-eroded chernozems of Predsairye varies in limits 0.51–0.88, Kuznetsk hollow – 0.51–0.64%. In the result of long-term anthropogenic pressure (about 130 years) on soil cover was decreased by 0.1–0.16%. In the result of erosion in the ploughed layer of moderately eroded soils content of nitrogen decreased in 1.5 and in strongly eroded soils – in 2 times in comparison with non-eroded analogs. Absolute erosion losses of nitrogen during the period of intensive anthropogenic impact on soil cover of slopes reached 6.6 for slightly eroded chernozems, 12.2 for moderately eroded and 15.5 t/ha for strongly eroded ones. During the same period slightly drift soils accumulated more than 14 t/ha of the total nitrogen.

Keywords: *chernozems, water erosion, nitrogen, melt-water, surface runoff, products of sediments.*